

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE
DIFERENTES CONCRETOS DE CALÇAMENTO
URBANO FRENTE AOS CENÁRIOS CLIMÁTICOS
FUTUROS**

BRUNO LEANDRO DOS SANTOS RODRIGUES

**Prof^a. Dr^a. MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE
NOGUEIRA**

**Cuiabá, MT
Dezembro, 2023**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE
DIFERENTES CONCRETOS DE CALÇAMENTO
URBANO FRENTE AOS CENÁRIOS CLIMÁTICOS
FUTUROS**

BRUNO LEANDRO DOS SANTOS RODRIGUES

*Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Física Ambiental da
Universidade Federal do Mato Grosso, como
parte dos requisitos para obtenção do título
de Doutor em Física Ambiental.*

**Prof.^a. Dr.^a. MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE
NOGUEIRA**

**Cuiabá, MT
Dezembro, 2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

R696a Rodrigues, Bruno Leandro dos Santos.

Análise do comportamento térmico de diferentes concretos de calçamento urbano frente aos cenários climáticos futuros [recurso eletrônico] / Bruno Leandro dos Santos Rodrigues. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 86 f., il. color., pdf). -- 2023.

Orientadora: Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2023.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://ri.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. Materiais frescos. 2. Aquecimento urbano. 3. Pavimentação urbana. I. Nogueira, Marta Cristina de Jesus Albuquerque, *orientador*. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE DIFERENTES CONCRETOS DE CALÇAMENTO URBANO FRENTE AOS CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS

AUTOR: DOUTORANDO BRUNO LEANDRO DOS SANTOS RODRIGUES

Tese defendida e aprovada em **07** de **DEZEMBRO** de **2023**.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Profa. Dra. MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA (Presidente Banca / **ORIENTADORA**)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

2. Profa. Dra. FLÁVIA MARIA DE MOURA SANTOS (Membro Interno)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

3. Prof. Dr. JOÃO BASSO MARQUES (Membro Interno)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

4. Profa. Dra. DIANA CAROLINA JESUS DE PAULA (Membro Externo)

INSTITUIÇÃO: CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VÁRZEA GRANDE

5. Profa. Dra. CAROLINA DE REZENDE MACIEL (Membro Externo)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

CUIABÁ, 07/12/2023.



Documento assinado eletronicamente por **MARCELO SACARDI BIUDES**, **Coordenador(a) de Programas de Pós-Graduação em Física Ambiental - IF/UFMT**, em 11/12/2023, às 17:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **FLAVIA MARIA DE MOURA SANTOS**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 11/12/2023, às 17:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 11/12/2023, às 17:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Diana Carolina Jesus de Paula**, **Usuário Externo**, em 11/12/2023, às 18:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOÃO BASSO MARQUES**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 12/12/2023, às 11:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carolina de Rezende Maciel**, **Usuário Externo**, em 13/12/2023, às 22:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6421077** e o código CRC **6E135353**.

DEDICATÓRIA

A minha esposa Natallia Sanches por todo o suporte e companheirismo, a minha filha Bruna Rodrigues que nasceu em meio a essa jornada do doutorado. Aos meus pais Geraldo Paiz e Rosanira Paiz, por sempre me apoiar e por todas as orações.

AGRADECIMENTOS

- Agradeço a minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira, pelas orientações, ensinamentos e por sempre estar disponível a me ajudar. Muito Obrigado Professora!
- Agradeço em especial aos componentes de minha banca de defesa (Prof^a. Dr^a. Flávia Maria de Moura Santos; Prof. Dr. João Basso Marques; Prof^a. Dr^a. Diana Carolina Jesus de Paula; Prof^a. Dr^a. Carolina de Rezende Maciel) pelas contribuições de suma importância para a melhoria de meu trabalho.
- À Deus por todas as bênçãos alcançadas, por ter me dado força para conclusão dessa etapa.
- À minha esposa Natallia Sanches e Souza, você foi de fundamental importância para a conclusão desse trabalho, sempre me apoiando e incentivando, bem como cuidando de nossa filha. Obrigado minha pequena!
- À minha filha Bruna Rodrigues que é minha maior motivação e fonte de energia. Obrigado minha pequeninha!
- À minha sogra Luciana Sanches, pela revisão gramatical do texto e por me incentivar a concluir essa etapa.
- Aos meus pais, em especial ao meu pai Geraldo Paiz que me ajudou no trabalho de confecção das placas de concreto da pesquisa.
- Agradeço a todos meus colegas do PPGFA, citando Yasmine Martins e Nivalda Nunes, pelo companheirismo e ajuda em geral.
- Agradeço aos meus colegas de trabalho, IFMT/Campus Várzea Grande, em especial ao Prof. Me. João Bosco Lima Beraldo, pela liberação da obra do IFMT para instalação do experimento de campo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 JUSTIFICATIVA.....	1
2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	4
2.1 CLIMA URBANO	4
2.2 MATERIAIS URBANOS	8
2.3 CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	13
3. ÁREA DE ESTUDO	18
3.1 O MUNICÍPIO DE VÁRZEA GRANDE	18
3.2 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DO LOCAL DO EXPERIMENTO	21
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4.1 PLACAS DE CONCRETO	23
4.2 MEDIÇÕES DAS TEMPERATURAS INTERNAS DAS PLACAS, SOLO E TEMPERATURA DO AR	26
4.3 MEDIÇÕES DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DAS PLACAS E DO SOLO.....	29
4.4 SIMULAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	30
4.5 SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO FUTURO DO MATERIAL	31
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5.1 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO	33
5.2 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS	40
5.3 SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO FUTURO DO MATERIAL	46
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	52
7. BIBLIOGRAFIAS	53
7.1 BIBLIOGRAFIAS CITADAS	53
7.2 BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS	63
8. ANEXOS	64

ANEXO A – CURVA GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO - ABNT NBR 17054:2022: AGREGADOS - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - MÉTODO DE ENSAIO	64
ANEXO B – CURVAS GRANULOMÉTRICAS DO AGREGADO GRAÚDO - ABNT NBR 17054:2022: AGREGADOS - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - MÉTODO DE ENSAIO	64
ANEXO C – DIAGRAMA DE DOSAGEM DOS CONCRETOS CONVENCIONAIS UTILIZADOS NA PESQUISA, COM DADOS OBTIDOS POR MEIO DO MÉTODO PROPOSTO POR HELENE E TERZIAN (1992)	65
ANEXO D – MASSA ESPECÍFICA DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA (ABNT NBR NM 52:2009: AGREGADO MIÚDO - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA E MASSA ESPECÍFICA APARENTE; ABNT NBR 16605:2017: CIMENTO PORTLAND E OUTROS MATERIAIS EM PÓ — DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA; ABNT NBR 16917:2021: AGREGADO GRAÚDO - DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE E DA ABSORÇÃO DE ÁGUA).....	66
ANEXO F – CONSUMO DE MATERIAIS E CUSTO TOTAL POR METRO CÚBICO DOS CONCRETOS PRODUZIDOS NA PESQUISA	66
ANEXO G – RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES CORPOS DE PROVA DE CONCRETO - ABNT NBR 5739:2018.....	66
ANEXO H - ENSAIO ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO DOS CORPOS DE PROVA DE CONCRETO - NBR 9778:2005.....	67
ANEXO I - ENSAIO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DE CONCRETO PERMEÁVEL MOLDADO <i>IN LOCO</i> - NBR 16416:2015	67
ANEXO J – FOTOS CÂMERA TERMOGRÁFICA	68
ANEXO J.1 – FOTOS CAPTURADAS ÀS 2H00MIN	68
ANEXO J.2 – FOTOS CAPTURADAS ÀS 8H00MIN	69
ANEXO J.3 – FOTOS CAPTURADAS ÀS 14H00MIN	70
ANEXO J.4 – FOTOS CAPTURADAS ÀS 20H00MIN	71

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Escalas Climáticas (a) Mesoescala (b) Escala local (c) Microescala	6
FIGURA 2 – Processos de fluxo de calor relacionados a ilha de calor urbana no período diurno e noturno	7
FIGURA 3 – Espectro Eletromagnético.....	9
FIGURA 4 - Variação da temperatura média global entre 1920 e 2015.....	13
FIGURA 5 - Emissões históricas e projeções futuras de emissões de CO ₂ para os caminhos SSPs apresentados no CMIP6. A área sombreada representa o intervalo de cenários de linha de base sem política	15
FIGURA 6 - Esquema dos componentes do CNRM-ESM2-1.....	16
FIGURA 7 - Mapa do município de Várzea Grande-MT	18
FIGURA 8 - Boxplot da temperatura média, máxima e mínima do ar, a amplitude térmica, a precipitação pluvial mensal acumulada (mm/mês), e a radiação solar global (kJ/m ² .dia) do município de Várzea Grande-MT. O gráfico representa o máximo e o mínimo, e primeiro e terceiro quartil dos dados. A linha sólida representa a mediana e a tracejada a média	19
FIGURA 9 - Mapeamento do uso do solo do município de Várzea Grande-MT, considerando informações obtidas do MapBiomas, 2022	20
FIGURA 10 – Foto aérea do local de instalação do experimento de campo	21
FIGURA 11 – Ortomosaico do local de instalação do experimento de campo, obtido por meio de voo de drone nos meses de julho a outubro de 2022	22
FIGURA 12 - Produção das placas de concreto, onde, (1) locação das formas; (2) Produção dos concretos; (3) Ensaio de massa específica; (4) Ensaio de Slump test; (5) Moldagem de corpos de prova; (6) Concretagem das placas; (7) Desforma das placas de concreto; (8) Furo para instalação de sensor	25
FIGURA 13 – Instalação do experimento de campo, onde, (a) Layout instalação do experimento de campo; (b) Foto de drone do experimento de campo.....	26
FIGURA 14 – Procedimento de aferição dos sensores de temperatura, onde, (1) Sensor imerso em água com gelo para aferição de temperatura mínima; (2) Sensor imerso em água quente para aferição de temperatura máxima	27
FIGURA 15 – Instalação dos registradores automáticos no local do experimento, onde, (1) Instalação dos Dataloggers no abrigo de intempéries; (2) Abrigo térmico confeccionado em EPS.....	28
FIGURA 16 - Fluxograma simulação cenários futuros	31
FIGURA 17 – Boxplot da temperatura internas das placas 1 a 6, da temperatura do solo e a 1,5 m do solo medidos a cada 5 minutos durante julho a outubro de 2022. O gráfico representa o máximo e o mínimo, e primeiro e terceiro quartil dos dados. A linha sólida representa a mediana e a tracejada a média	34

FIGURA 18 - Boxplot da temperatura internas das placas 1 a 6 medidos a cada 5 minutos no período diurno (5h30min a 18h) e noturno (18h01min a 5h29h) durante julho a outubro de 2022. O gráfico representa o máximo e o mínimo, e primeiro e terceiro quartil dos dados. A linha sólida representa a mediana e a tracejada a média	36
FIGURA 19 – Ciclo diário da temperatura superficial (°C) nas placas 1 a 6 e no solo durante julho a outubro	39
FIGURA 20 - Boxplot da média mensal de temperatura média do ar na cidade Várzea Grande, Mato Grosso, Brasil, nos cenários futuros 2021-2040; 2041-2060; 2061-2080 e 2081-2100. O gráfico representa o máximo e o mínimo, e primeiro e terceiro quartil dos dados. A linha sólida representa a mediana e a tracejada a média	41
FIGURA 21 - Mapeamento da temperatura média para os cenários futuros 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 e 2081-2100, respectivamente, no município de Várzea Grande-MT.....	43
FIGURA 22 - Mapeamento da temperatura do ar média mensal em julho, agosto, setembro e outubro (meses de medição <i>in loco</i>) nos cenários futuros 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 e 2081-2100	45
FIGURA 23 - Boxplot gerado a partir da equação da reta obtida da regressão linear entre a temperatura do ar (1,5 m de altura, nível do pedestre) e a temperatura interna do material considerando a temperatura do ar do cenário futuro para aferição da temperatura interna do material, na cidade Várzea Grande, Mato Grosso, Brasil, nos cenários futuros 2021-2040; 2041-2060; 2061-2080 e 2081-2100. O gráfico representa o máximo e o mínimo, e primeiro e terceiro quartil dos dados. A linha sólida representa a mediana e a tracejada a média. *O interquartil representa o comportamento dos doze meses do ano do cenário e material analisado.	47

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Sistema de Clima Urbano	5
TABELA 2 – Albedo em diversas superfícies	10
TABELA 3 - Albedo em diferentes materiais	11
TABELA 4 – Descrição das placas de concreto (P1, P2, P3, P4, P5 e P6) conforme material, traço, fator água/cimento, massa específica e Slump test.....	23
TABELA 5 - Especificações de acurácia e resolução dos sensores.....	27
TABELA 6 - Especificações de acurácia e resolução dos registradores automáticos (dataloggers).....	27
TABELA 7 - Correlação de Spearman entre as temperaturas (T1 a T8) dos sensores durante a aferição, $p \leq 0,05$ (nível de significância)	28
TABELA 8 – Período de coleta de dados automático de temperatura interna das placas, do solo e temperatura do ar a 1,50 m	29
TABELA 9 - Período de coleta de dados de temperatura superficial das placas e do solo	30
TABELA 10 – Diferenças térmicas internas (ΔT , °C) entre a placa de referência 1 e as placas 2 a 6 e o solo durante os períodos diurno e noturno em julho a outubro de 2022.....	37
TABELA 11 – Diferença térmica (ΔT , °C), entre os cenários futuros em janeiro a dezembro	42
TABELA 12 - Equações das retas e correlação obtidas da regressão linear das placas e a temperatura do ar (°C) concomitantes	46
TABELA 13 - Diferença térmica (ΔT , °C), da temperatura média projetada entre os cenários futuros dos materiais propostos, e acrescentada a variação da temperatura do solo e a 1,50 m (nível do pedestre)	48
TABELA 14 - Variação temporal dos materiais, solo e temperatura do ar 1,5m nos cenários futuros em relação aos meses anteriores, considerando a diferença entre o mês analisado e o mês anterior, demonstrando se houve aumento ou redução.....	49
TABELA 15 - Diferenças térmicas (ΔT , °C) entre a placa de referência 1 e as placas 2 a 6 durante o período das projeções de cenários futuros.....	50

LISTA DE ABREVIACÕES E/OU SÍMBOLOS

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SCU	Sistema Clima Urbano
ICU	Ilha de Calor Urbana
ICUS	Ilha de Calor Urbana Superficial
ρ	Refletância
α	Absortância
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (em inglês <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
CMIP	Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (em inglês <i>Coupled Model Intercomparison Project</i>)
SSP	Caminhos Socioeconomicos Compartilhados (em inglês <i>shared socioeconomic pathways</i>)
IFMT	Instituto Federal de Mato Grosso
Tar	Temperatura do ar
°C	Graus Celsius
h	Horas
min.	Minutos
m	Metros
AR	Relatório de avaliação
m ²	Metros quadrados
mm	Milímetros
s	Segundos
km ²	Quilômetros quadrados
%	Porcentagem
kg/m ³	Quilos por metro cúbico
cm	Centímetros
IP	Grau de proteção
UV	Radiação ultravioleta
Aw	Tropical Chuvoso
W/(m.K)	Watt por metro por kelvin
W·m ⁻²	Watt por metro quadrado
λ	Condutividade térmica

RESUMO

RODRIGUES, B. L. S. **Análise do comportamento térmico de diferentes concretos de calçamento urbano frente aos cenários climáticos futuros**. 86f. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2023.

As mudanças climáticas estão se intensificando mais rápido do que as previsões. Ademais em 2050, em torno de 70% da população mundial viverá nos centros urbanos acarretando maiores modificações no espaço urbano e consequentemente no aumento do fenômeno de ilhas de calor urbana. Sendo assim, se faz necessário encontrar meios de mitigação dos efeitos do aquecimento em centros urbanos. Uma possibilidade para tal seria a de modificação dos materiais urbanos usualmente utilizados (impermeáveis e de baixa refletância) por materiais denominados materiais frescos. Deste modo, o objetivo geral desta pesquisa foi analisar o comportamento térmico de diferentes concretos de calçamento urbano frente aos cenários climáticos futuros, por meio do modelo CNRM-ESM2-1 e cenário SSP3-7.0, nos períodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 e 2081-2100 no município Várzea Grande, Mato Grosso. Para tal foram confeccionadas placas de concretos com diferentes traços, composições e materiais; foi analisado o comportamento térmico, considerando a temperatura interna e a superficial das placas de concreto e solo; foi avaliada a relação das temperaturas (internas e superficiais) das placas com a temperatura do ar a distância do solo de 1,50 m (nível do pedestre); foi realizada e analisada a simulação espaço-temporal dos cenários de mudanças climáticas por meio de projeção de temperatura média do ar pelo modelo CNRM-ESM2-1 e cenário SSP3-7.0; e por fim foi avaliado o comportamento térmico simulado com a projeção futura dos materiais por meio da correlação entre a temperatura do ar obtidas na simulação de cenários futuros e a temperatura interna do material. Os resultados demonstraram, que para a região urbana analisada, e nos meses analisados, o desempenho térmico de materiais para calçamentos urbanos se apresentou mais fresco considerando propostas de materiais frios voltados ao aumento de refletância e albedo do material. Os materiais permeáveis se apresentaram, por vezes, mais aquecidos que a placa de referência. Considerando os cenários futuros ficou demonstrado o aumento da temperatura no município de Várzea Grande-MT, em torno de 5 °C para o mês de outubro, entre os cenários futuros. Conclui-se então, que considerando a projeção do comportamento futuro dos materiais, e ressaltando que se trata dos meses de maior desconforto humano e menor precipitação e umidade relativa, a melhor proposta de calçamento urbano seria a substituição de calçamento convencional por calçamento com propostas de traços que busquem aumentar a refletância do material, tais como a P2, P5 e P6, que apresentam em sua composição cimento branco. Dadas as condições da localidade e dos meses analisados afirma-se que propostas com enfoque na permeabilidade, considerando a redução do aquecimento do material, não se mostraram eficientes nem no cenário atual, tampouco em cenários futuros.

Palavras-chave: materiais frescos, aquecimento urbano, pavimentação urbana.

ABSTRACT

RODRIGUES, B. L. S. **Analysis of the thermal behavior of different urban paving concretes in the face of future climate scenarios.** 86p. Thesis (PhD in Environmental Physics), Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso, Cuiabá, 2023.

Climate change is intensifying faster than predicted. Furthermore, by 2050, around 70 % of the world's population will live in urban centers, leading to greater changes in urban space and consequently an increase in the phenomenon of urban heat islands. Therefore, it is necessary to find means of mitigating the effects of warming in urban centers. One possibility for this would be to modify the urban materials usually used (waterproof and low reflectance) for materials called cool materials. Therefore, the general objective of this research was to analyze the thermal behavior of different urban paving concretes in the face of future climate scenarios, using the CNRM-ESM2-1 model and SSP3-7.0 scenario, in the periods 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 and 2081-2100 in the municipality of Várzea Grande, Mato Grosso. To this end, concrete boards with different traits, compositions and materials were made; the thermal behavior was analyzed, considering the internal and surface temperatures of the concrete boards and soil; the relationship between the temperatures (internal and surface) of the signs and the air temperature at a distance of 1.50 m from the ground (pedestrian level) was evaluated; the spatio-temporal simulation of climate change scenarios was carried out and analyzed through projection of average air temperature using the CNRM-ESM2-1 model and SSP3-7.0 scenario; and finally, the simulated thermal behavior was evaluated with the future projection of the materials through the correlation between the air temperature obtained in the simulation of future scenarios and the internal temperature of the material. The results demonstrated that for the urban region analyzed, and in the months analyzed, the thermal performance of materials for urban footwear is presented cooler considering proposals for cold materials aimed at increasing the reflectance and albedo of the material. Permeable materials were sometimes hotter than the reference board. Considering the future scenarios, an increase in temperature in the municipality of Várzea Grande-MT was demonstrated, around 5 °C for the month of October, among the future scenarios. It is concluded, then, that considering the projection of the future behavior of materials, and highlighting that these are the months of greatest human discomfort and lower precipitation and relative humidity, the best proposal for urban paving would be the replacement of conventional paving with paving with proposed traits that seek to increase the reflectance of the material, such as P2, P5 and P6, which contain white cement in their composition. Given the conditions of the location and the months analyzed, it was stated that proposals focusing on permeability, considering the reduction of material heating, did not prove to be efficient either in the current scenario or in future scenarios.

Keywords: fresh materials, district heating, urban paving.

1. INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

As mudanças climáticas estão aumentando mais rápido do que os cientistas previram há menos de uma década (ONU, 2023). De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (ONU, 2023) em seu relatório AR6 destaca que a população urbana será de aproximadamente 70% em 2050, o que acarretará maior conversão do ambiente natural para o antropizado. No Brasil, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2022), atualmente, a população urbana é 61% da população total.

Sendo assim, as mudanças climáticas representam desafios significativos no planejamento de áreas urbanas no mundo, afetando o bem-estar e a qualidade de vida de seus habitantes. À medida que as temperaturas do ar se elevam, devido ao aumento dos materiais urbanos, materiais estes impermeáveis e de baixa refletância, as cidades experimentarão o efeito de ilha de calor urbana, levando a um maior consumo de energia, comprometendo a saúde humana e amplificando os impactos ambientais.

As mudanças climáticas alteram o padrão climático global, principalmente sob o aspecto antropológico indicando uma dupla relação entre os humanos e o aquecimento global, uma vez que ao mesmo tempo são parcialmente responsáveis, e são também as vítimas, principalmente devido a conversão das áreas rurais em áreas urbanas, com projetos e planejamento ineficientes, e uso de maior quantidade de materiais superficiais urbanos que favorecem a propagação de calor, devido suas altas capacidades térmicas.

A cidade de Várzea Grande, estado de Mato Grosso, localidade desta pesquisa, é conhecida por seu clima quente, com classificação climática do tipo Aw, segundo Köppen, com meses secos e chuvosos, e altas temperaturas, atingindo em alguns meses temperatura do ar igual ou superior a 40 °C, tornando-a particularmente vulnerável aos impactos do aumento de temperaturas.

1.2 JUSTIFICATIVA

As mudanças climáticas emergiram como um dos desafios mais prementes de nosso tempo, com implicações ao meio ambiente, economia e bem-estar humano. Para

tal, conhecer as influências das mudanças climáticas requerem abordagens multifacetadas, e um aspecto crucial é avaliar os materiais construtivos usados em ambientes urbanos. Mitigar os efeitos adversos das mudanças climáticas requer abordagens sob um aspecto crítico, entendendo e otimizando o comportamento térmico dos materiais de pavimentação urbana.

Devido a expansão das áreas urbanas e conseqüentemente o aumento dos materiais artificiais, há uma necessidade urgente de avaliar as características térmicas de diferentes materiais de pavimentação e seu potencial contribuição para ilhas de calor urbanas. Considerando que 29 a 45% da superfície urbana seja coberta por pavimentação (AKBAKI et al., 2012), é possível propor alternativas para a diminuição da temperatura do ar em meio urbano e conseqüentemente a mitigação de ilha de calor urbana baseados em pesquisas científicas.

Os pavimentos frescos favorecem menores temperaturas de superfície que os pavimentos convencionais e mitigam o superaquecimento urbano. Eles diminuem seus ganhos de calor por meio de melhoria de propriedades térmicas dos pavimentos, ou seja, a refletância solar e a emissividade térmica, realizando resfriamento por evaporação ou convertendo calor em outras formas de energia (KOUSIS PISELLO, 2023).

Destaca-se também os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (ONU, 2015), principalmente o ODS 11, que ressalta a necessidade de pensarmos em cidades e comunidades sustentáveis, objetivo o qual que poderá ser atingido por meio de um pensar no ambiente urbano de forma prévia, produzindo um ambiente urbano planejado.

Deste modo, o objetivo geral deste trabalho foi analisar o comportamento térmico de diferentes concretos de calçamento urbano frente aos cenários climáticos futuros, por meio do modelo CNRM-ESM2-1 e cenário SSP3-7.0, nos períodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 e 2081-2100 no município Várzea Grande, Mato Grosso.

Para alcançar este objetivo geral, os objetivos específicos desenvolvidos foram:

- a) simular possibilidades de calçamento urbano por meio de confecção de placas de concretos com diferentes traços, composições e materiais;
- b) analisar o comportamento térmico, considerando a temperatura interna e a superficial das placas de concreto e solo;

c) avaliar sua relação com a temperatura do ar a distância do solo de 1,50 m (nível do pedestre);

d) simular os cenários futuros de mudanças climáticas por meio de projeção de temperatura média do ar, nos períodos de 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100 pelo modelo CNRM-ESM2-1 e cenário SSP3-7.0;

e) avaliar e analisar o comportamento térmico simulado com a projeção futura dos materiais por meio da correlação entre a temperatura do ar obtidas na simulação de cenários futuros e a temperatura interna do material.

2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

O referencial bibliográfico desta tese é composto por três subcapítulos, os quais, serão abrangidos temas como clima urbano, materiais urbanos e os cenários futuros das mudanças climáticas.

2.1 CLIMA URBANO

Sorre (1955) define o clima como um lugar, uma estação, com abordagem pela observação científica, considerando que os conjuntos das variações atmosféricas têm diferenciação de locais distintos, pequenas variações topográficas, de relevo, altitude podem ocasionar mudanças no clima local.

Posto a definição de clima segundo Sorre (1955), com destaque as variações determinadas pelo meio ambiente, pelos elementos elencados, destacam-se que para o clima urbano, há um elemento primordial de análise: a urbanização.

Segundo Mendonça (2003), as condições climáticas do ambiente urbano são entendidas como clima urbano e derivam da alteração da paisagem natural e substituição de áreas vegetadas, permeáveis por ambientes construídos e de intensa atividade humana.

As cidades normalmente são vistas sob ponto de vista climatológico como micro espaços em comparação com sistemas de macro escala que influenciam o sistema climático global. No entanto, o clima na extensão de uma cidade é influenciado pela modificação de superfície, expansão urbana e características atmosféricas em escalas locais e que alteram, inclusive as variáveis atmosféricas climatológicas em sua vizinhança.

A urbanização, assim como outros elementos também tem variação de cidades para cidades. A sua intensidade de ocupação de solo, os níveis de verticalização, a supressão ou presença de vegetação urbana, os tipos de materiais construtivos, a intensidade do tráfego, são elementos inerentes ao ambiente urbano, que variam não somente entre centros urbanos, mas entre bairros do mesmo centro urbano (OLIVEIRA, 2020).

Monteiro (1976) apoiado já em estudos anteriores como de Maximilien Sorre (1934, 1951), entre outros, apresenta o que definiu como Sistema Clima Urbano (SCU) “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”.

No SCU, Monteiro (1976) definiu um sistema considerando quatro fases distintas, sendo importação de energia ao sistema, transformação de energia dentro do sistema, incorporação da energia transformada pelo/no sistema e exportação, com três canais de percepção, sendo o físico-químico (qualidade do ar), o hidrometeorológico (impacto meteórico) e o termodinâmico (conforto térmico).

TABELA 1 – Sistema de Clima Urbano

Subsistemas Canais	I	II	III
Caracterização	Termodinâmico	Físico-Químico	Hidrometeorológico
	Conforto térmico	Qualidade do ar	Impacto meteórico
Fonte	Atmosfera Radiação Circulação horizontal	Atividade urbana Veículos auto-motores Indústrias Obras-Limpas	Atmosfera estados especiais (desvios rítmicos)
Trânsito no sistema	Intercâmbio de operador e operando	De operando ao operador	Do operador ao operando
Mecanismo de ação	Transformação no sistema	Difusão através do sistema	Concentração no sistema
Projeção	Interação Núcleo ambiente	Do núcleo ao ambiente	Do ambiente ao núcleo
Desenvolvimento	Contínuo (permanente)	Cumulativo (renovável)	Episódico (eventual)
Observação	Meteorológico especial (T. de campo)	Sanitária e Meteorológica especial	Meteorológica Hidrológica (T. de campo)
Correlações disciplinares e tecnológicas	Bioclimatologia Arquitetura Urbanismo	Engenharia sanitária	Engenharia sanitária e Infraestrutura urbana
Produtos	"Ilha de Calor" Ventilação Aumento da precipitação	Poluição do ar	Ataques à Integridade Urbana
Efeitos diretos	Desconforto e redução do desempenho humano	Problemas sanitários Doenças respiratórias, oftalmológicas etc.	Problemas de circulação e comunicação urbana
Reciclagem adaptativa	Controle do uso do solo Tecnologia de conforto habitacional	Vigilância e controle dos agentes de poluição	Aperfeiçoamento da Infraestrutura urbana e regularização fluvial. Uso do solo
Responsabilidade	Natureza e Homem	Homem	Natureza

FONTE: Adaptado de Monteiro, 1976

Ainda em estudos de Monteiro (2003) foi agregado o fator antrópico (homem) no meio físico das pesquisas sobre o clima. Dado que o homem estabelece uma relação de duplo papel quanto as alterações climáticas do meio urbano. Os seres humanos são afetados e acabam afetando o meio pelas transformações urbanas (SERRONE et al., 2022).

A complexidade da relação dos elementos e processos termodinâmicos do clima urbano podem ser analisadas por geoindicadores como: uso e ocupação do solo, áreas verdes, os tipos de edificação, a morfologia urbana, topografia, entre outros (SANTÀNNA NETO & RAMPAZZO, 2016).

Oke (2006) destacou as diferentes escalas climáticas, ou seja, distâncias horizontais da área de interesse no ambiente urbano (FIGURA 1).

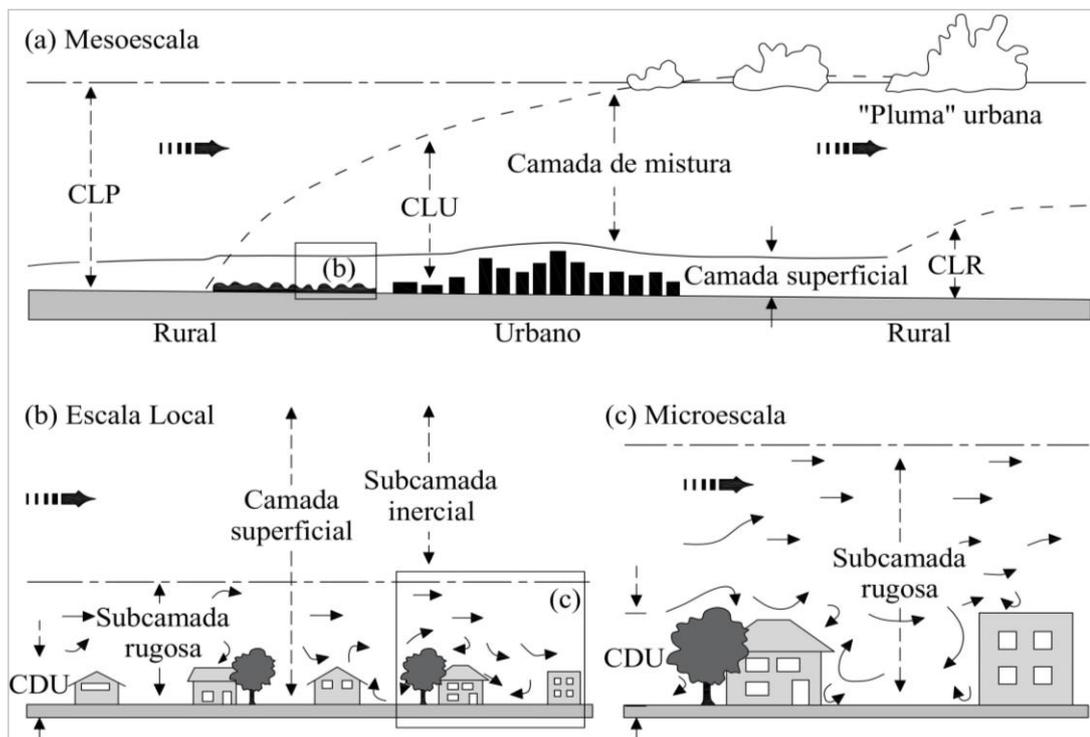


FIGURA 1 – Escalas Climáticas (a) Mesoescala (b) Escala local (c) Microescala

FONTE: Adaptado de Oke, 2006

A mesoescala, apresenta quilômetros de extensão e demonstra a influência da cidade no clima urbano; a escala local já inclui os efeitos climáticos de paisagens urbanas, topografia, mas ainda não demonstra a interferência de cobertura do solo, tamanho e disposição dos edifícios, e possui dimensão de um a mais quilômetros; e por fim, o meio de análise desta pesquisa, a microescala, escala típica de análise de microclima urbano, já relacionada aos elementos urbanos como edifícios, ruas, jardins, entre outros, e com dimensão de um a centenas de metros (OKE, 2006).

Convém reforçar os efeitos adversos do clima urbano, tais como, as anomalias térmicas, o aumento da emissão de gases do efeito estufa (RAMPAZZO, 2020). Onde diversos estudos apresentam a tendência de aumento nas temperaturas médias do ar

globais, associadas a causas naturais e ao intenso processo de urbanização (IPCC, 2022).

A principal anomalia térmica diz respeito a Ilha de Calor Urbana (ICU), sendo que, a vasta literatura de estudos sobre essa temática a definem como: a diferença de temperatura do ar entre o centro urbano adensado e a área rural ou circundante com baixa densidade construtiva (OKE et al., 2017).

A ICU é um fenômeno meteorológico de rápida variabilidade regida pelo ciclo diurno da radiação solar, surgindo principalmente pela impermeabilização da superfície (OKE et al., 2017).

Por se tratar de evento climático relativo à complexidade da modificação do ambiente urbano, de suas características, e dada a variação das diferenças térmicas, sendo assim, há um aumento de intensidade da ilha de calor urbana ao longo do dia até a madrugada, horário de liberação de calor acumulado pelos materiais urbanos, dada sua alta capacidade térmica e impermeabilidade (EPA, 2008; ROMERO et al., 2010) (FIGURA 2).

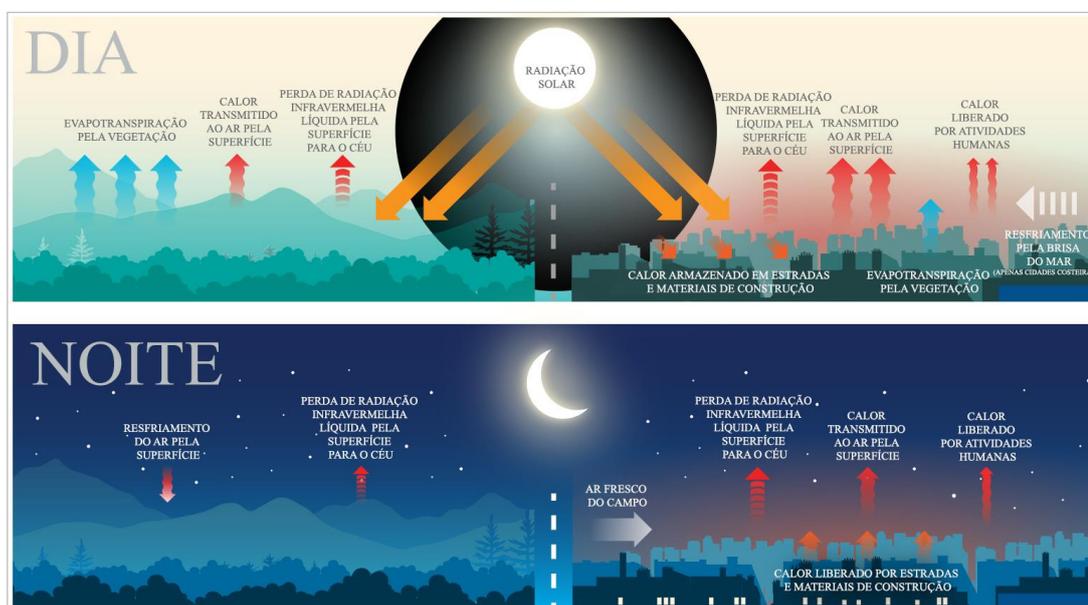


FIGURA 2 – Processos de fluxo de calor relacionados a ilha de calor urbana no período diurno e noturno

FONTE: Adaptado de Masson et al., 2020

Analisando sob o aspecto diurno, observa-se que a ICU (atmosfera) é geralmente menor que a Ilha de Calor Urbana Superficial (ICUS) (superfície), isso dada a estrutura atmosférica que faz com que ocorra a mistura do ar pela turbulência (MASSON et al., 2020). Ainda no período diurno, ilhas de frescor, ou seja,

temperatura menor na área urbana do que na área rural, podem ser observadas, normalmente pela manhã (SOUZA, 2019), dado que as áreas rurais se aquecem mais rápido que a cidade.

No período noturno o calor armazenado pelas superfícies urbanas é liberado para a atmosfera, e é por isso que as cidades acabam por serem mais quentes que as áreas rurais, principalmente no início da noite. As temperaturas da superfície urbana também permanecem mais quentes à noite, embora com maior variabilidade nas temperaturas da superfície, conforme as propriedades térmicas dos materiais urbanos (MANOLI et al., 2019; MASSON et al., 2020).

2.2 MATERIAIS URBANOS

O clima urbano é uma modificação de um clima local com condições particulares no meio ambiente urbano, relacionado a rugosidade do tecido urbano, e/ou pela ocupação de permeabilidade e propriedades térmicas dos materiais urbanos (OKE, 1978).

Primeiramente, é necessário compreender que as modificações do clima urbano são compostas de diversos fatores, dentre eles, a substituição de vegetação natural por solo impermeabilizado, coberto com materiais urbanos: pavimentação e calçamento. Segundo Carpio (2014), cerca de 45% de um centro urbano é tomado por pavimentação asfáltica e calçamento urbano.

Exposto isto, tratar sobre o comportamento térmico destes materiais, é uma variável importante para a compreensão do microclima urbano. Estes materiais fazem por alterar o balanço de radiação do meio urbano em que estão inseridos (GARTLAND, 2010).

O balanço de radiação de uma superfície é correspondente à soma da energia radiante que esta superfície recebeu e perdeu, que depende de fatores físicos e termodinâmicos (CALLEJAS et al., 2015). Exemplificando, os materiais recebem energia solar através de radiação eletromagnética, esta energia é transferida aos corpos sólidos e fluídos sob forma de ondas. Estas ondas são divididas no espectro eletromagnético em diferentes regiões: raios gama, raios X, ultravioleta, luz visível, radiação infravermelha, micro-ondas e ondas de rádio (FIGURA 3).

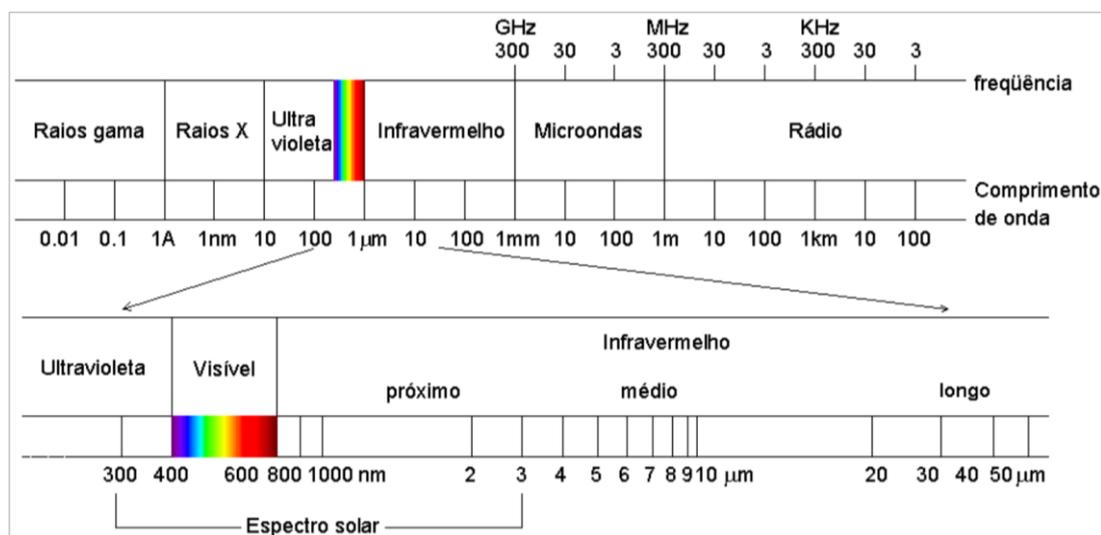


FIGURA 3 – Espectro Eletromagnético

FONTE: Dornelles, 2008

Toda a energia proveniente do sol é filtrada pela atmosfera, e atinge a superfície terrestre em uma proporção de aproximadamente 49% do espectro infravermelho, 45% do espectro visível, e 7% espectro ultravioleta. A radiação ao atingir uma superfície opaca, tais como a pavimentação e calçamento urbano, segue dois caminhos: ser refletida ou ser absorvida (PEREIRA, 2014).

A capacidade da superfície de um determinado material refletir a radiação incidente é conhecida como refletância (ρ), sendo a mesma igual ao quociente da parcela de radiação refletida pela parcela de radiação incidente na superfície. A energia, em materiais opacos, que não é refletida é absorvida, elevando sua temperatura. A esta propriedade é dado o nome de absorvância (α) que é igual ao quociente da parcela de radiação absorvida pela parcela de radiação incidente (MODEST, 2013).

Sendo assim, o balanço energético do material urbano é definido pela radiação solar absorvida, a radiação infravermelha emitida, o calor transferido por convecção ao ar, ao calor conduzido ao solo, e ao calor armazenado pela massa do próprio material (SANTAMOURIS, 2013).

Ademais os materiais possuem uma propriedade definida como emitância térmica, que é, a capacidade de emitir a radiação, em comprimento de onda mais longos, normalmente infravermelho. A emitância varia entre 0 e 1, sendo que a possibilidade de emitância máxima é atribuída ao corpo negro ideal teórico (MODEST, 2013).

Uma superfície exposta à radiação solar, irá se aquecer até que alcance o seu equilíbrio térmico. Sendo assim, ao mesmo momento em que a radiação solar é absorvida, fazendo com o que o material se aqueça, o material irá dissipar energia (PEREIRA, 2014). Estas são as propriedades que irão auxiliar na determinação do quanto um material urbano contribui ou não para o fenômeno de aquecimento urbano ou ilha de calor urbana.

Considerando os materiais de construção civil e pavimentação urbana, os que normalmente constituem o meio urbano, eles têm maior capacidade de retenção de energia do que os que são constituintes do meio rural e/ou natural. Exposto que a capacidade de retenção é inversamente proporcional a capacidade de refletir, observa-se os valores de albedo de algumas superfícies urbanas (TABELA 2).

TABELA 2 – Albedo em diversas superfícies

Superfície	Albedo
Neve	0,65 – 0,88
Gelo	0,30 – 0,50
Florestas	0,05 – 0,15
Oceanos	0,05 – 0,10
Rocha	0,20 – 0,25
Média da superfície terrestre	0,35
Telhado de alta refletância	0,60 – 0,70
Telha vermelha/ marrom	0,10 – 0,35
Telhado corrugado	0,10 – 0,15
Tinta branca	0,50 – 0,90
Tinta colorida	0,10 – 0,35
Tijolo/ pedra	0,20 – 0,40
Pavimento de concreto cimento Portland	0,25 – 0,70
Pavimento de concreto asfáltico	0,02 – 0,10

FONTE: USEPA, 2012

Desta forma, o albedo pode ser definido como sinônimo de refletância, sendo assim, é a capacidade que uma determinada superfície tem de refletir a luz solar incidente (COAKLEY, 2003). O albedo é expresso em escala entre 0 e 1, sendo 0 uma superfície nada refletiva e um para uma superfície perfeitamente refletiva (DUFFIE & BECKMAN, 2013). Destaca-se que o albedo é observado junto a refletância, de tal maneira que um material com albedo de 0,05, possui refletância de 5%.

Segundo Giodano & Krüger (2013), o valor do albedo se altera durante o dia, em variação ao ângulo de incidência de radiação solar, obtendo-se valores mais elevados no início da manhã e fim da tarde, e valores mais constantes entre 9 e 15h.

Ao que tange os pavimentos, é possível realizar o incremento de albedo por incorporação de pigmentos e/ou agregados, utilização de matéria-prima de maior refletância e tratamentos superficiais (ANTING et al., 2018). Destaca-se que o albedo dos materiais também é influenciado pela composição (responsável pela coloração) e morfologia da superfície, desgaste do material, e a orientação da radiação solar incidente, como já foi descrito. Superfícies claras e lisas tendem a ter um albedo mais elevado que superfícies escuras e rugosas (USEPA, 2015).

Sendo assim, duas características dos materiais urbanos são essenciais para sua compreensão enquanto pavimentos frios, sendo elas: a coloração do material e a sua rugosidade, cada uma desempenhando papel relevante no comportamento térmico do material. A coloração, como dito anteriormente têm relação direta com o albedo do material, indicando qual a capacidade de absorção do material. Conforme TABELA 3, é possível observar o impacto em diferentes concretos.

TABELA 3 - Albedo em diferentes materiais

Material	Albedo	
	Faixa	Médio
Concreto Asfáltico (CA) novo	-	0,05
Concreto Asfáltico (CA) velho	-	0,20
CA com capa refletiva	0,20 - 0,30	0,20
Concreto Portland novo	-	0,35
Concreto Portland envelhecido	-	0,29
CA permeável	0,08 - 0,12	0,10
Concreto Portland permeável	0,18 - 0,28	0,25
Cimento Portland branco	-	0,80
Solo	0,21 - 0,23	0,22
Areia do deserto	-	0,40
Região do Ártico	-	0,77

FONTE: MARUYAMA, 2020 *apud* LI et al., 2014; BRITTO & HELLER 2016

Enquanto a rugosidade, que é definida pelas micro irregularidades geométricas do material, influência na absorção do material por meio da interreflexão. Exemplificando, da radiação que atinge a superfície do material, parte é absorvida, parte é refletida, porém, dado a irregularidade da superfície ocorre pequenas interreflexões, ou seja, parte do que foi refletido, acaba atingindo novamente a

superfície do material (RORIZ et al., 2007). Em estudo Dornelles (2006) determina que a rugosidade reduz linearmente a refletância das amostras estudadas.

Com isto, surgem no meio científico diversas pesquisas abordando temáticas da produção e comportamento de pavimentos frios. Os materiais conhecidos como pavimentos frios são caracterizados por altos valores de refletância e alta emitância térmica, ou seja, absorvem menos energia e são mais eficientes no que tange a dissipação de calor acumulado (ROMEU & ZINZI, 2013).

Pavimentos frios ou Pavimentos frescos são compostos por materiais que fazem com que a temperatura superficial seja mais baixa em relação aos pavimentos convencionais (KOWALSKI et al., 2022). Isto é possível por meio de retenção de umidade pelo material e/ou controle sobre o albedo das superfícies (LI et al., 2014).

Diversos estudos comprovaram a eficiência ao se tratar de pavimentos frios como meio de mitigação do aquecimento urbano (SANTAMOURIS, 2013; GILBERT et al., 2020). A permeabilidade é um dos fatores que apresenta melhoria no aspecto da capacidade térmica do material, assim como auxilia em reduzir impactos de inundações e alagamentos dos centros urbanos (KOWALSKI et al., 2022).

Lamberts et al. (2014) define que a condutividade térmica (λ) do material, ou seja, sua capacidade de conduzir calor por unidade de tempo, tem relação direta com a densidade do material. Considerando a NBR 15220-Parte 2 (ABNT, 2005) o concreto normal apresenta condutividade térmica de 1,75 W/(m.K), enquanto um concreto permeável (denominado na norma como concreto cavernoso) apresenta condutividade térmica de 1,40 W/(m.K).

Além disso, segundo Castro (2015), o concreto permeável apresenta capacidade de drenagem superficial, contribuindo para o escoamento do volume advindo da precipitação acumulada em áreas com baixa declividade. Além disso, ao se acumular certa quantidade de água nas frestas e poros do concreto permeável, a evaporação se torna mais lenta, contribuindo para o resfriamento evaporativo (MASIERO & SOUZA, 2018).

O mesmo resfriamento evaporativo é capaz de reduzir a amplitude térmica do meio externo. Segundo Wang et al. (2018) salientam que os pavimentos frios, considerando a permeabilidade, têm se apresentado como opção para a amenização de

temperatura dos centros urbanos devido sua baixa retenção de calor, a depender de sua cor e densidade, podendo reduzir temperatura da superfície em até 10 °C.

Superfícies urbanas predominantemente secas e impermeáveis tendem à temperaturas de superfícies mais elevadas e com grande variação de temperatura e umidade, eventos estes que são reduzidos em ambientes rurais. Estas diferenças são predominantemente, pela evapotranspiração e na eficiência de convecção. Sendo assim, para combater os efeitos pela excessiva impermeabilização urbana, se faz necessário considerar a capacidade de retenção de água e a dissipação de calor que os materiais apresentam (KOWALSKI et al., 2022).

2.3 CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Tendo compreensão de que o clima de uma região é o tempo médio em um longo período. Segundo Santos & Bakhshoodeh (2021), as mudanças climáticas são mudanças a longo prazo no clima típico de uma região.

Enquanto o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (2018) define mudanças climáticas como:

“uma mudança no estado do clima que pode ser identificada... por mudanças na média e/ou na variabilidade de suas propriedades e que persiste por um período prolongado, podendo ser decorrentes de processos internos naturais, forçantes externas naturais, ou mudanças antropogênicas persistentes na composição atmosférica e no uso da terra”.

As atividades antropogênicas e industriais aceleraram gradualmente as mudanças climáticas, principalmente no clima urbano, incluindo um aumento na temperatura da superfície (FIGURA 4).

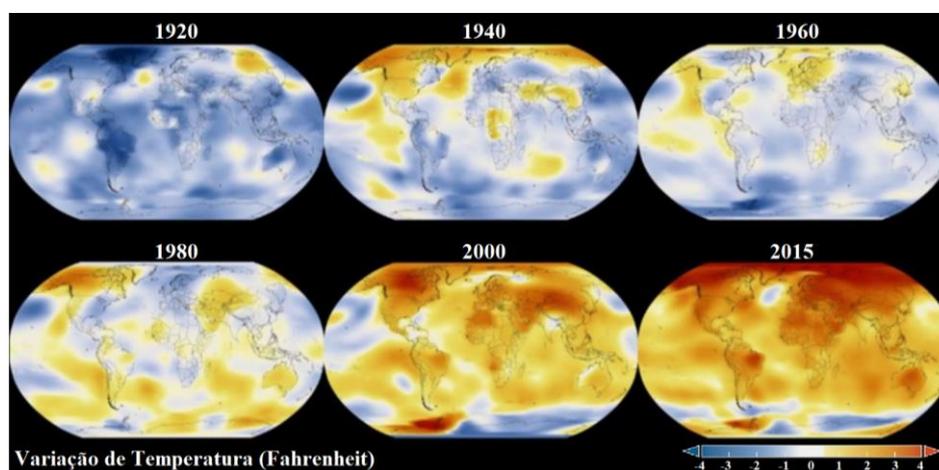


FIGURA 4 - Variação da temperatura média global entre 1920 e 2015

FONTE: Nasa, 2022

As alterações nas temperaturas superficiais introduzidas no quinto relatório de avaliação – AR5 do IPCC (2014), estão sendo reafirmadas pelo sexto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (2022), ressaltando que as mudanças climáticas têm impactos negativos perceptíveis em outras partes do planeta como mudanças nos ecossistemas e desertificação (OUHAMDOUCH et al., 2019).

Termos como mudanças climáticas, aquecimento global, e mais recentemente, emergência climática são, na última década os termos de sinônimos de maior desafio a sustentabilidade do século XXI (PRINCIOTTA & LOUGHLIN, 2014; MARTENS et al., 2016). Encontrar maneiras e formas de mitigar as mudanças climáticas são foco de diversas pesquisas científicas, considerando meios de reduzir a quantidade de emissões antrópicas de gases de efeito estufa (FAWZY et al., 2020), ou encontrando tecnologias de energia renováveis e captura de carbono (NEVES JR, 2014; MEIER ET AL., 2022; LEZAUN, 2021) e por fim técnicas de geoengenharia que alterem o balanço de energia, a fim de estabilizar e ou reduzir temperaturas globais (OSMAN et al., 2020).

Dada a preocupação inerente a temática de mudanças climáticas surgem os modelos climáticos globais, que são as principais ferramentas de analisar projeções de cenários de mudanças climáticas. Periodicamente os modelos climáticos são ajustados para obter melhor compreensão da resposta do sistema climático a uma variedade de cenários potenciais de emissão ou concentração de CO₂ (TAYLOR et al., 2012, MEINSHAUSEN et al., 2020).

Os modelos climáticos fazem parte do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (*Coupled Model Intercomparison Project – CMIP*) do IPCC. Possuem a capacidade de projetar as concentrações de CO₂, a partir de modelos matemáticos simulando processos físicos, químicos e biológicos da atmosfera, terra e oceano (RAMOS FILHO, 2022).

Surge então, no sexto relatório do IPCC (AR6), 100 diferentes modelos climáticos, provenientes de 49 diferentes grupos de modelos climáticos, denominados CMIP6. Estes modelos são organizados em cenários de emissões de CO₂ conduzidos por diferentes pressupostos socioeconômicos.

Estes cenários denominados de Caminhos Socioeconomicos Compartilhados (*shared socioeconomic pathways - SSP*) foram desenvolvidos e nomeados SSP1-2.6,

SSP2-4.5, SSP4-6.0 e SSP5-8.5 e são impulsionados por condições socioeconômicas da sociedade global, como educação, urbanização, demografia e desenvolvimento tecnológico. Os cenários apresentados no CMIP6 apresentam avanço dados cenários onde exploram melhor a linha de análise sem política climática, por meio de inclusões de novos cenários como SSP1-1.9, SSP4-3.4, SSP5-3.4OS e SSP3-7.0 (HAUSFATHER, 2019).

Há cinco narrativas que baseiam os SSPs e descrevem as tendências socioeconômicas mundiais futuras. Elas incluem desde um mundo onde o crescimento e igualdade são baseados e focados na sustentabilidade (SSP1); um mundo no meio do caminho onde as tendências seguem os padrões históricos (SSP2); um mundo fragmentado de nacionalismo ressurgente (SSP3); um mundo com a desigualdade cada vez maior (SSP4) e um mundo de crescimento rápido e irrestrito no uso de energia (SSP5) (RIAHI et al., 2017; ALVES, 2022).

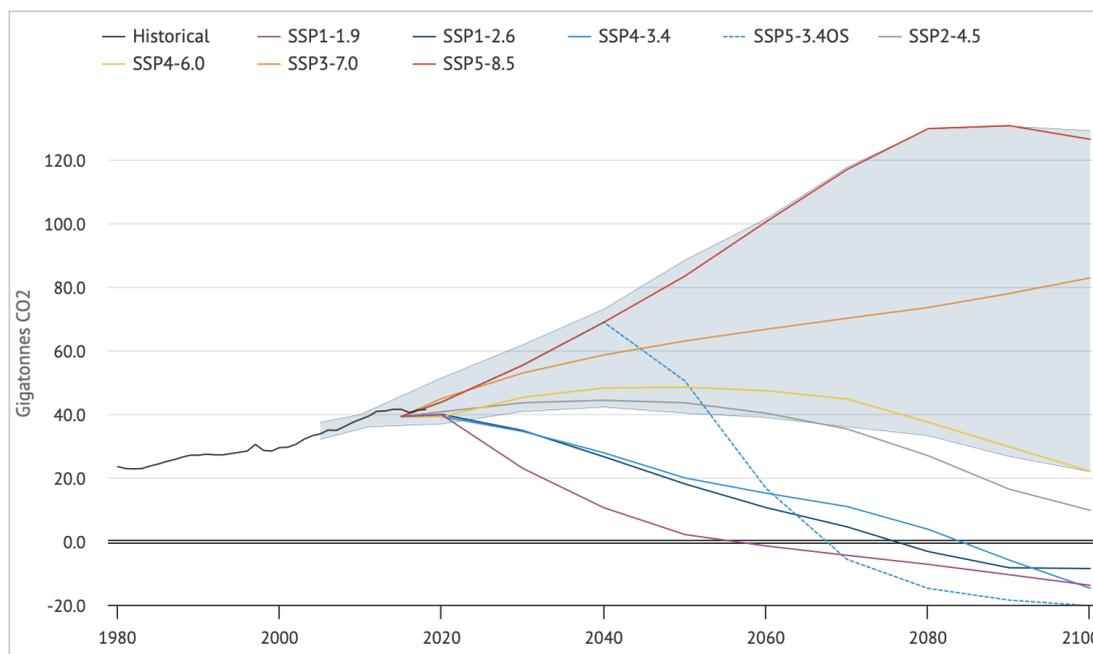


FIGURA 5 - Emissões históricas e projeções futuras de emissões de CO₂ para os caminhos SSPs apresentados no CMIP6. A área sombreada representa o intervalo de cenários de linha de base sem política

FONTE: Hausfather, 2019

Como dito anteriormente, o CMIP6 adicionou novos cenários, onde é possível observar pela FIGURA 5 os limites de emissões de CO₂ para cada cenário. O SSP3-7.0 (cenário utilizado nesta pesquisa), seria um cenário intermediário entre os piores cenários e os mais otimistas. O SSP4-3.4 é um cenário que tenta explorar o

espaço entre os cenários que limitam o aquecimento abaixo de 2 °C e em torno de 3 °C até 2100. O SSP5-3.4OS é um cenário de superação, onde as emissões seguiriam o caminho do SSP5-8.5 (pior cenário) até 2040, e depois diminuiriam extremamente rápido até o fim do século (HAUSFATHER, 2019).

Nesta pesquisa foi utilizado o modelo CNRM-ESM2-1 com caminho socioeconômico compartilhado SSP3-7.0. O CNRM-ESM2-1 fornece uma primeira tentativa de limitar o ciclo global do carbono, resolvendo a troca de carbono não apenas entre a atmosfera, a terra e o oceano, mas também entre a terra e o oceano, através do continente aquático (VOLDOIRE et al., 2019). Como consequência, o CNRM-ESM2-1 pode ser executado com concentrações prescritas de CO₂ atmosférico ou com emissões antropogênicas de CO₂.

A seleção do modelo CNRM-ESM2-1 foi norteadada no fato de ser um modelo de sistema terrestre mais complexo e realista em termos dos processos do sistema terrestre, considerando interações de aerossóis troposféricos, química atmosférica, carbono terrestre e o oceano (FIGURA 6) (ALVES & SANCHES, 2022).

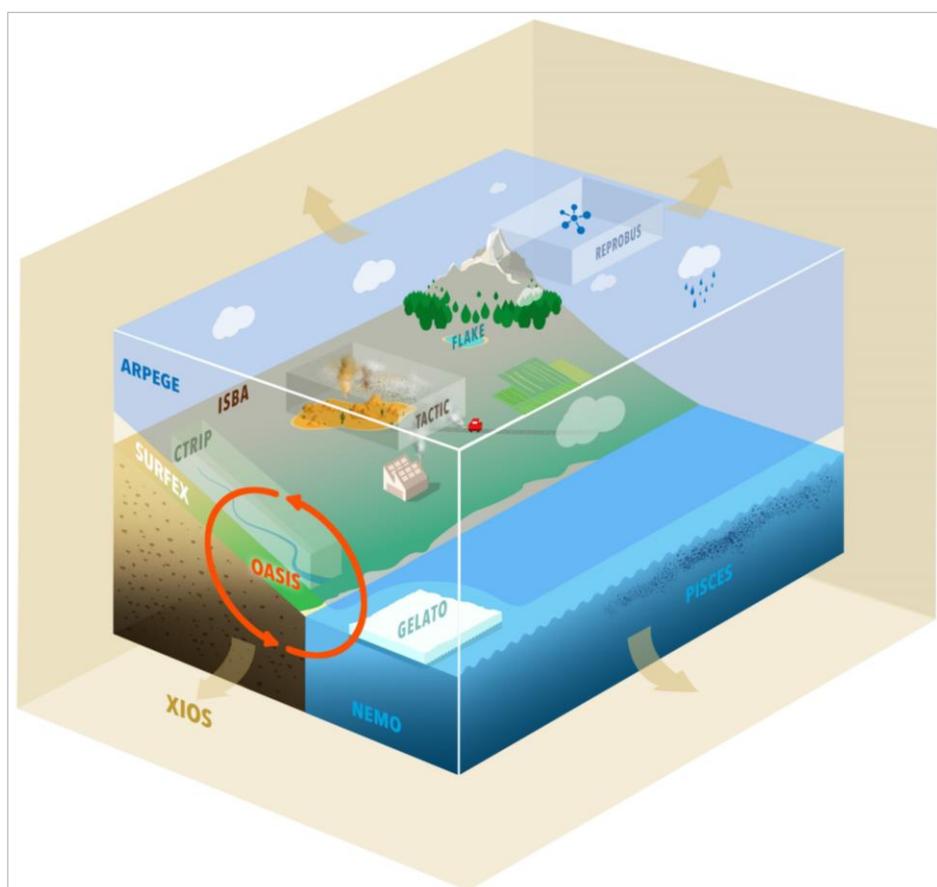


FIGURA 6 - Esquema dos componentes do CNRM-ESM2-1
FONTE: Séférian et al. (2019)

Considerando o núcleo físico do modelo, se constitui do ARPEGE (modelo que descreve a circulação atmosférica geral global), NEMO (modelo utilizado para atividades de investigação de ciências oceânicas e climáticas), GELATO (modelo de avaliação de variabilidade de gelo marinho no ártico), SURFEX (plataforma de modelagem de superfície), ISBA-CTRIP (modelo de superfície terrestre com interface em modelos atmosféricos e hidrológicos) e FLAKE (modelo capaz de prever a estrutura e temperatura em lagos de água doce) (DÉQUÉ et al., 1994; GUEMAS et al., 2008; LAYDEN et al., 2016; VOLDOIRE et al., 2017; DECHARME et al., 2019).

Enquanto no núcleo biogeoquímico foram considerados os modelos ISBA-CC (modelo de superfície terrestre com interface em modelos atmosféricos e hidrológicos) e PISCES (modelo que simula os níveis tróficos inferiores dos ecossistemas marinhos e ciclos biogeoquímicos do carbono entre outros) (AUMONT et al., 2015; DECHARME et al., 2019).

Por fim no núcleo de química atmosférica e aerossóis, os modelos utilizados foi TACTIC (simula a evolução física de cinco aerossóis troposféricos: poeira, sal marinho, carbono negro, matéria orgânico e sulfato) e REPROBUS (simulação onde as rotinas químicas fazem parte da física do modelo climático atmosférico) (MICHOU et al., 2011; MICHOU et al., 2015).

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1 O MUNICÍPIO DE VÁRZEA GRANDE

A pesquisa foi desenvolvida no município de Várzea Grande-MT, na área urbana com área territorial de 724,28 km² e 299,47 mil habitantes (IBGE, 2022), situada à margem oeste do rio Cuiabá, delimitação que a separa da capital do estado Cuiabá-MT. Várzea Grande se localiza em uma planície denominada como “Depressão Cuiabana”, tendo uma variação de altimetria entre 150 e 246 m (FIGURA 7).

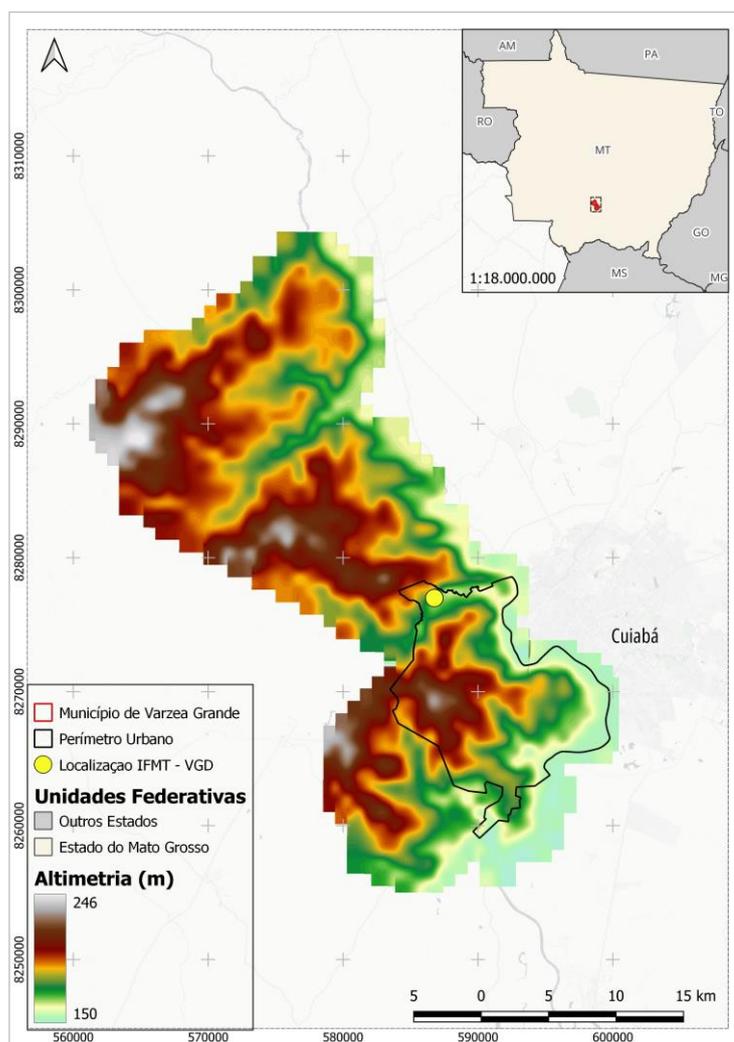


FIGURA 7 - Mapa do município de Várzea Grande-MT
FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

O município de Várzea Grande apresenta classificação climática Aw de acordo com Köppen, ou seja, clima tropical semi-úmido com duas estações bem definidas, inverno seco e verão úmido (ALVARES et al. 2013).

A caracterização climática por meio das temperaturas máximas e mínimas do ar ($^{\circ}\text{C}$), precipitação pluvial (mm), radiação solar ($\text{kJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) foram realizadas com dados climáticos obtidos na plataforma Worldclim versão 2.1, na resolução espacial 30s ($\sim 1 \text{ km}^2$), referente ao período de 1970-2000 (referência do período atual) representando a normal climatológica.

A FIGURA 8 apresenta a temperatura média, máxima e mínima do ar, a amplitude térmica (diferença entre a temperatura máxima e mínima, $^{\circ}\text{C}$), a precipitação pluvial mensal acumulada (mm/mês), e a radiação solar global ($\text{kJ/m}^2\cdot\text{dia}$).

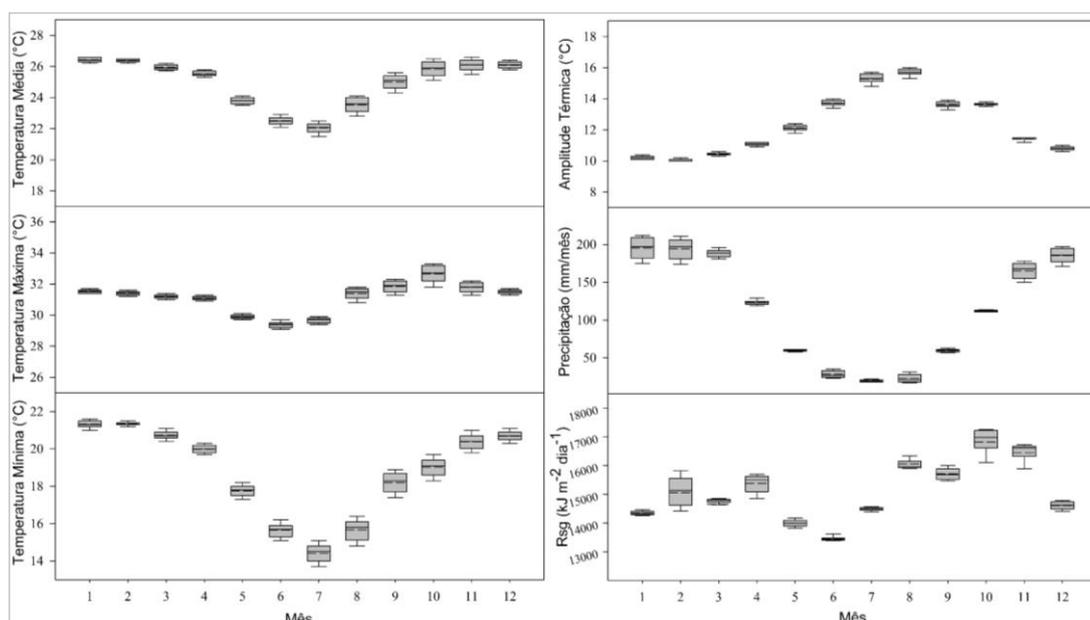


FIGURA 8 - Boxplot da temperatura média, máxima e mínima do ar, a amplitude térmica, a precipitação pluvial mensal acumulada (mm/mês), e a radiação solar global ($\text{kJ/m}^2\cdot\text{dia}$) do município de Várzea Grande-MT. O gráfico representa o máximo e o mínimo, e primeiro e terceiro quartil dos dados. A linha sólida representa a mediana e a tracejada a média

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

As máximas temperaturas do ar, ocorreram entre agosto e outubro, correspondendo as maiores amplitudes térmicas entre junho e outubro. Enquanto as maiores precipitações ocorreram entre novembro e março.

O mapeamento do uso do solo foi produzido com base em informações obtidas do MapBiomass (2022), conforme FIGURA 9.

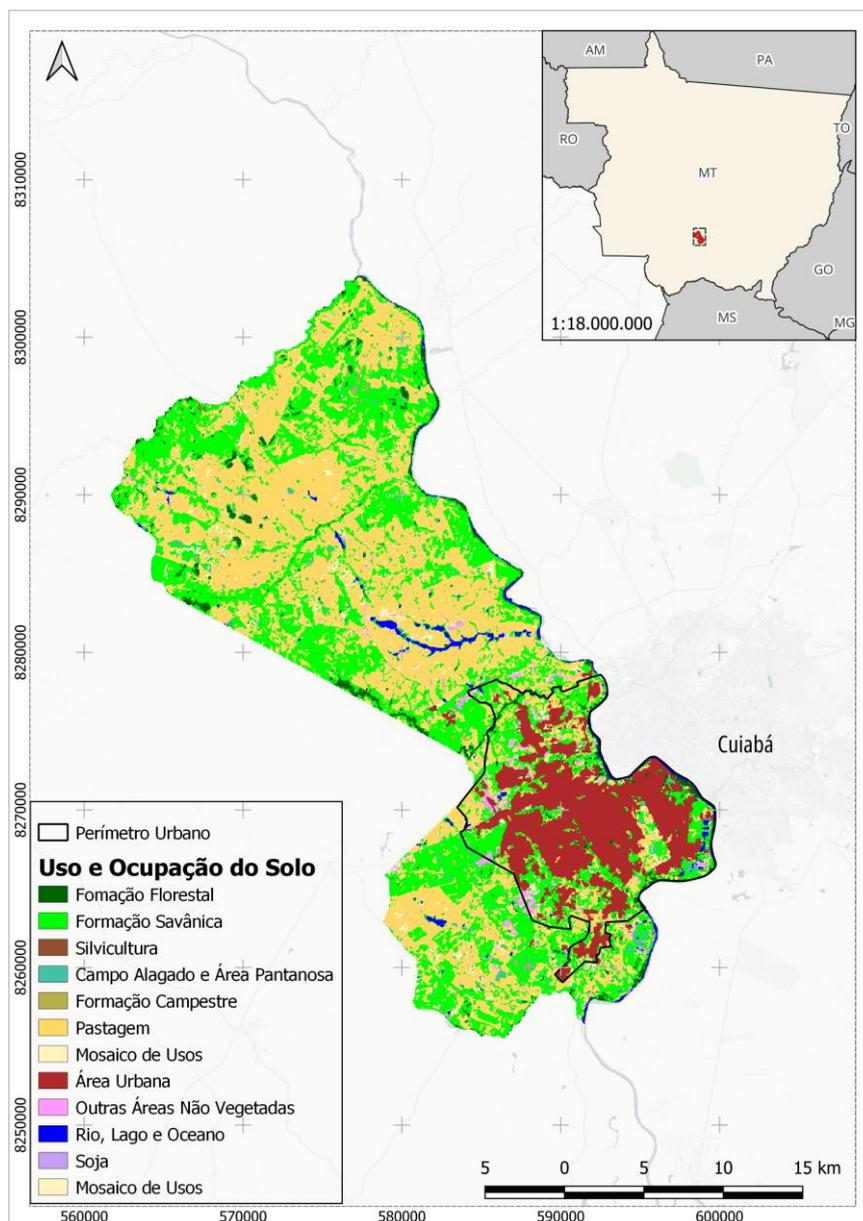


FIGURA 9 - Mapeamento do uso do solo do município de Várzea Grande-MT, considerando informações obtidas do MapBiomas, 2022

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

A vegetação predominante na região é o Cerrado, sendo que as matas mais densas são encontradas nas proximidades dos cursos d'água. Em relação a área municipal, a área urbanizada representa ~30% da área total. Na área municipal se observa muita área de formação savânica e pastagem.

O município de Várzea Grande apresenta um clima predominantemente quente, acentuado pelo processo de urbanização contínuo registrando altas temperaturas.

3.2 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DO LOCAL DO EXPERIMENTO

As placas de concreto propostas foram produzidas e instaladas na obra do Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT) - Campus de Várzea Grande, localizado no bairro do Chapéu do Sol, Várzea Grande ($56^{\circ}11'25,69''\text{O}$; $15^{\circ}34'58,34''\text{S}$). A escolha do local foi pela segurança, e por ser em uma região que ainda não sofreu grandes processos de urbanização, a fim de garantir que não houvesse sombreamento próximo para que o comportamento térmico das placas não fosse alterado (FIGURA 10).

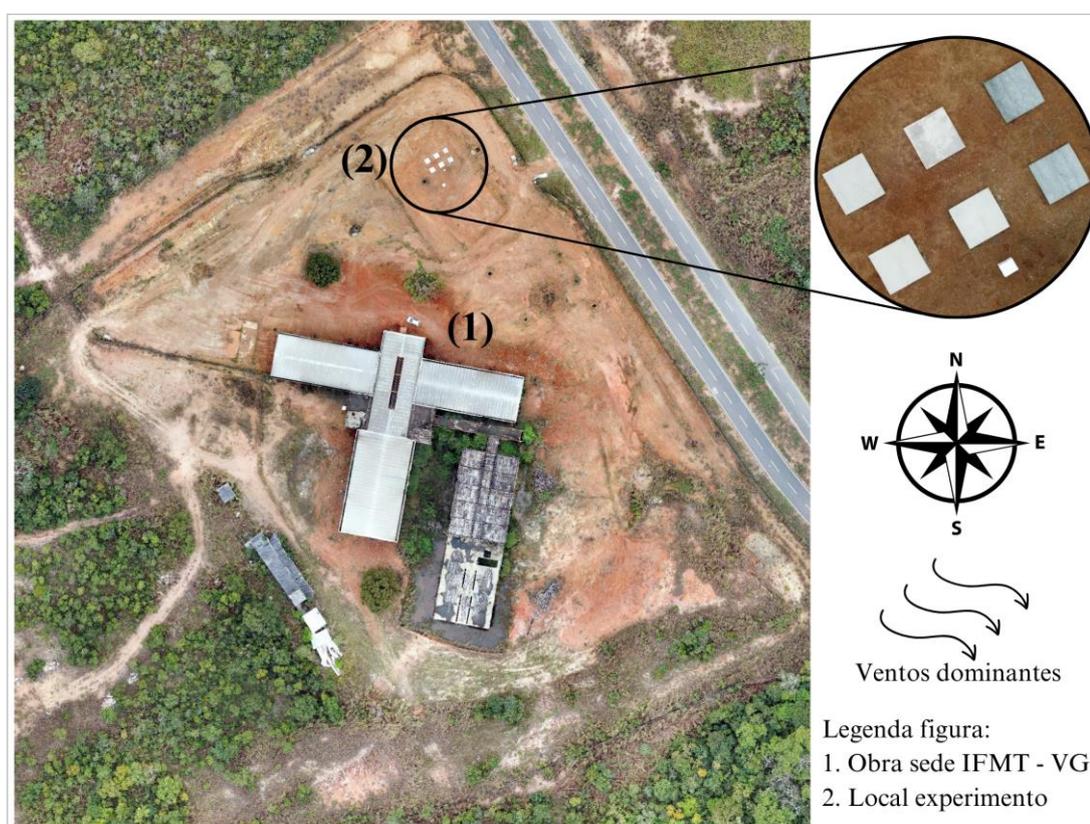


FIGURA 10 – Foto aérea do local de instalação do experimento de campo
FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

Por meio de voo de drone (modelo Mini II, marca DJI, China), foi obtida a FIGURA 11, onde percebe-se que o local de instalação do experimento não apresenta possibilidade de sombreamento próximo ao longo dos meses da pesquisa, com grande extensão de solo exposto.

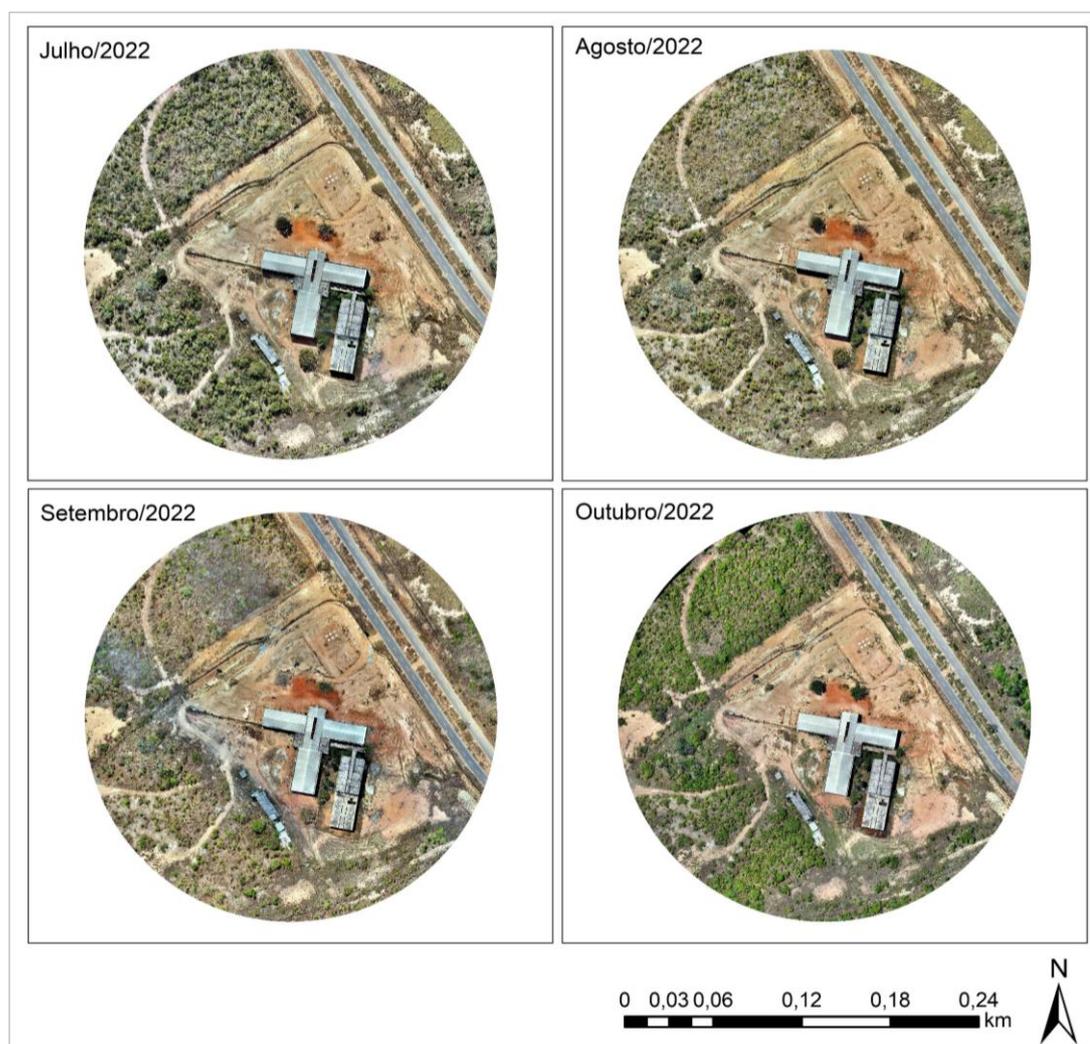


FIGURA 11 – Ortomosaico do local de instalação do experimento de campo, obtido por meio de voo de drone nos meses de julho a outubro de 2022

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

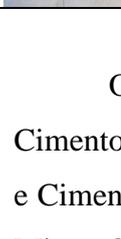
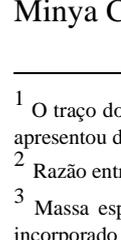
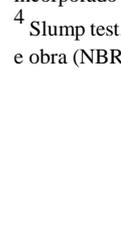
Desconsiderando-se a área edificada e a área de pavimentação asfáltica, reforça-se o impacto das condições climáticas dos meses analisados na vegetação urbana, seja na sua densidade e/ou coloração, impactante na saúde da vegetação.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 PLACAS DE CONCRETO

A simulação de diferentes calçamentos urbano foi feita por meio de seis placas de concreto, nomeadas P1, P2, P3, P4, P5 e P6, com diferentes traços¹, fator água/cimento² (a/c), massa específica³, Slump test⁴, conforme TABELA 4.

TABELA 4 – Descrição das placas de concreto (P1, P2, P3, P4, P5 e P6) conforme material, traço, fator água/cimento, massa específica e Slump test

Imagem	Placa	Descrição	Material	Traço (em massa)	Fator a/c	Massa esp. (kg/m ³)	Slump (cm)
	P1	Concreto Referência	Cimento Portland CII-Z; Areia; Brita 1; Brita 2;	1:1,86:0,7:1,64	0,57	2342,8	7
	P2	Concreto 100% Branco	Cimento Portland Branco; Areia; Brita 1; Brita 2;	1:1,86:0,7:1,64	0,59	2373,9	10
	P3	Concreto permeável Brita 1	Cimento Portland CII-Z; Brita 1	1:5	0,35	1836,5	-----
	P4	Concreto permeável Brita 0	Cimento Portland CII-Z; Brita 0	1:5	0,35	1984,0	-----
	P5	Concreto 50% Branco e 50% Cinza	Cimento Portland CII-Z; Cimento Portland Branco; Areia Brita 1; Brita 2;	1:1,86:0,7:1,64	0,57	2348,3	8
	P6	Concreto 20% Branco e 80% Cinza	Cimento Portland CII-Z; Cimento Portland Branco; Areia; Brita 1; Brita 2;	1:1,86:0,7:1,64	0,59	2408,6	10

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

Os materiais aglomerantes utilizados na produção dos concretos foram: Cimento Portland CII-Z-32, marca Itaú fabricado pela Votorantim Cimentos, Brasil e Cimento Portland Branco estrutural CPB-40, marca Argos fabricado pela Royal El Minya Cemente, Egito.

¹ O traço do concreto, é a proporção de materiais utilizados na preparação do mesmo, na pesquisa o concreto convencional se apresentou da seguinte forma (cimento; areia; brita 1; brita 2), já o concreto permeável (cimento; brita 1 ou brita 0).

² Razão entre a quantidade de água e a quantidade de cimento da mistura.

³ Massa específica, é massa da unidade de volume de concreto fresco adensado, incluindo o volume de ar aprisionado e incorporado (NBR 9833, 2008).

⁴ Slump test, é um método para determinação da consistência do concreto fresco pela medida de seu assentamento, em laboratório e obra (NBR 16889, 2020).

Os materiais agregados foram: brita 0, brita 1 e areia média provenientes da empresa Brita União, localizada em Várzea Grande-MT. Reforçando que no caso dos concretos da P3 e P4, que são concretos permeáveis, somente foi utilizado as britas, o que as torna materiais com maior porosidade e conseqüentemente maior quantidade de vazios.

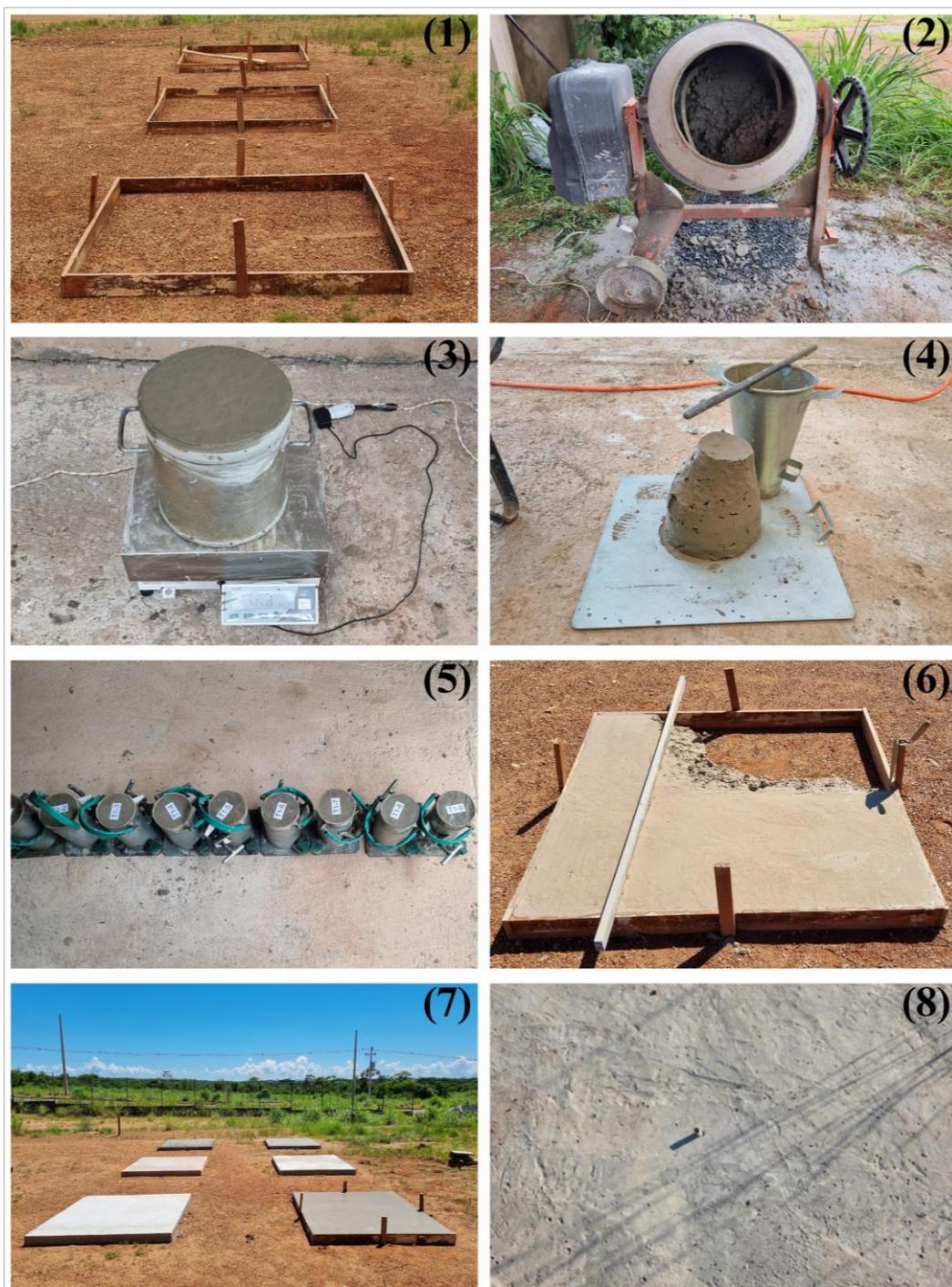
Utilizando uma betoneira, a confecção dos concretos seguiu a seqüência:

Para confecção dos concretos P1, P2, P5 e P6, foi adicionado a brita, cimento e 20% da água e aguardou 2 minutos de mistura na betoneira, posteriormente foi adicionado a areia e 80% da água com 5 minutos de mistura.

Para a confecção dos concretos P3 e P4 foram adicionados a brita e 50% da água e aguardou 1 minuto de mistura na betoneira, posteriormente foi adicionado o cimento e aguardou 3 minutos de mistura e após, adicionou 50% da água com 2 minutos de mistura.

Os concretos preparados foram inseridos em fôrmas de madeira nas dimensões internas de 1,50 x 1,50 x 0,10 m (L x C x A) locadas e travadas no local de estudo das placas de concreto. A produção das placas de concreto ocorreu entre os dias 19/01/2022 e 22/01/2022.

Sendo assim, a produção das placas seguiu as seguintes etapas: 1. Produção e instalação das fôrmas; 2. Produção dos concretos; 3. Lançamento e adensamento do concreto; 4. Realização do acabamento superior; 5. Realização de ensaios de controle tecnológico do concreto em estado fresco (massa específica e Slump test, conforme TABELA 4); 6. Moldagem dos corpos de prova para aguardo do tempo de cura (28 dias); 7. Retirada das fôrmas; 8. Perfuração do centro para instalação de sensor de temperatura. A FIGURA 12 ilustra essas etapas de confecção das placas de concreto.



Legenda:

- | | |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| (1) Locação das formas | (5) Moldagem de corpos de prova |
| (2) Produção dos concretos | (6) Concretagem das placas |
| (3) Ensaio de massa específica | (7) Desforma das placas de concreto |
| (4) Ensaio de Slump test | (8) Furo para instalação de sensor |

FIGURA 12 - Produção das placas de concreto, onde, (1) locação das formas; (2) Produção dos concretos; (3) Ensaio de massa específica; (4) Ensaio de Slump test; (5) Moldagem de corpos de prova; (6) Concretagem das placas; (7) Desforma das placas de concreto; (8) Furo para instalação de sensor

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

Os corpos de prova foram moldados para ensaios de: resistência à compressão simples (ANEXO G), absorção de água por imersão, índice de vazio e massa específica e absorção de água por capilaridade (ANEXO H). A FIGURA 13 ilustra a posição das placas de concreto e equipamentos instalados no local.

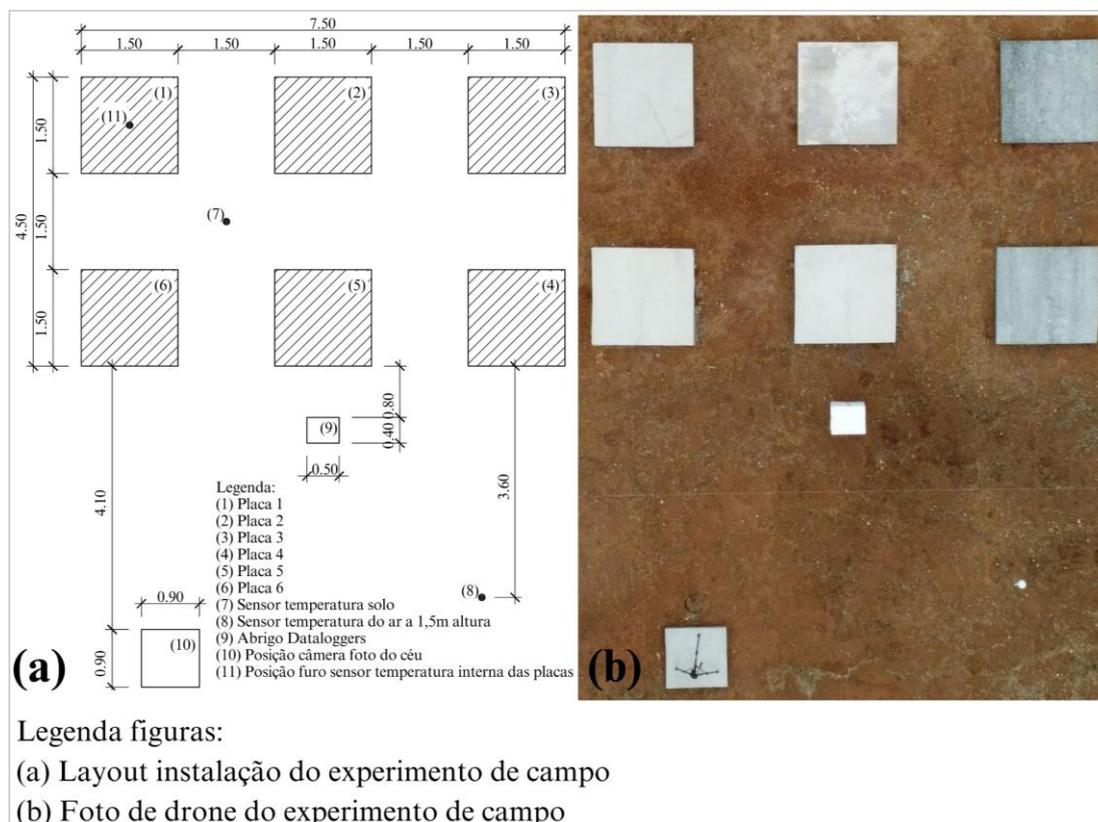


FIGURA 13 – Instalação do experimento de campo, onde, (a) Layout instalação do experimento de campo; (b) Foto de drone do experimento de campo

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

A distância utilizada entre as placas na pesquisa foi de 1,5 m, a fim de garantir que não houvesse interferência no aquecimento dada sua proximidade, assim como uma distância de 3 m em relação a posição do sensor de temperatura do ar, evitando que houvesse sombreamento nas placas por conta da localização do sensor.

4.2 MEDIÇÕES DAS TEMPERATURAS INTERNAS DAS PLACAS, SOLO E TEMPERATURA DO AR

A temperatura interna das placas, assim como a temperatura do solo e a temperatura do ar a 1,50 m de distância do solo (nível do pedestre) (SENTELHAS & ANGELOCCI, 2012) foram medidas a cada 5 minutos por oito sensores de temperatura do ar (modelo TMC20-HD, marca ONSET, Estados Unidos) com sonda

de 6 metros de comprimento, conforme especificações de acurácia e resolução dos sensores apresentados na TABELA 5.

TABELA 5 - Especificações de acurácia e resolução dos sensores

Faixa de medição	Temperatura do ar: -40 °C a 100 °C
Acurácia	Temperatura do ar: $\pm 0,25$ °C
Resolução	Temperatura do ar: 0,03 °C a 20 °C

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

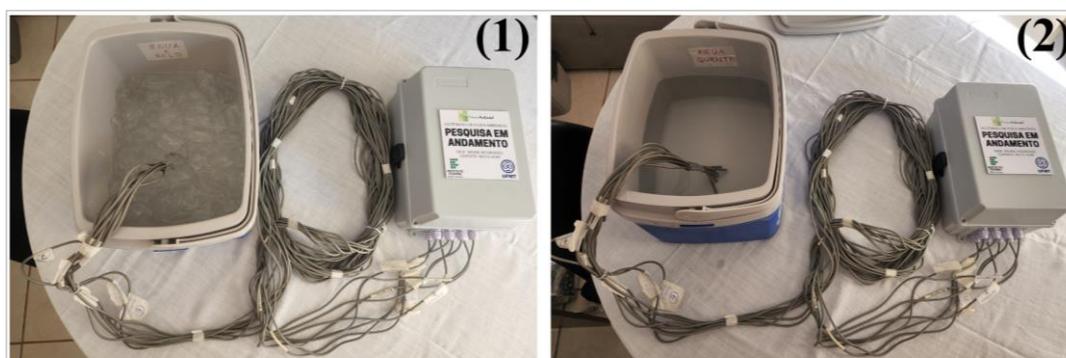
Os dados coletados foram armazenados em 8 registradores automáticos – dataloggers (modelo U12-012, marca ONSET, Estados Unidos), conforme especificações de acurácia e resolução dos dataloggers apresentados na TABELA 6.

TABELA 6 - Especificações de acurácia e resolução dos registradores automáticos (dataloggers)

Faixa de medição	Temperatura do ar: -20 °C a 70 °C
Acurácia	Temperatura do ar: $\pm 0,35$ °C
Resolução	Temperatura do ar: 0,03 °C

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

Os sensores foram aferidos submetidos a condições extremas de temperatura máxima e mínima, sendo para a temperatura mínima colocados em uma caixa térmica com gelo e água durante 6 horas. Posteriormente, para a temperatura máxima submetidos a água quente com temperatura de aproximadamente 60 °C durante 6 horas (FIGURA 14).



Legenda:

- (1) Sensor imerso em água com gelo para aferição de temperatura mínima
 (2) Sensor imerso em água quente para aferição de temperatura máxima

FIGURA 14 – Procedimento de aferição dos sensores de temperatura, onde, (1) Sensor imerso em água com gelo para aferição de temperatura mínima; (2) Sensor imerso em água quente para aferição de temperatura máxima

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

Os dados obtidos da aferição por meio de correlação de Spearman, dado que o teste de Spearman é utilizado para avaliação de dependência de duas variáveis de distribuição não normal (MIOT, 2018), entre os dados de temperatura obtidos nos oito sensores são apresentados na TABELA 7, resultando em valores entre 0,97 e 1, indicando que não houve diferença significativa entre eles.

TABELA 7 - Correlação de Spearman entre as temperaturas (T1 a T8) dos sensores durante a aferição, $p \leq 0,05$ (nível de significância)

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
T1	1							
T2	0,98	1						
T3	0,99	0,98	1					
T4	0,99	0,98	0,98	1				
T5	0,98	0,99	0,98	0,99	1			
T6	0,98	0,99	0,98	0,98	0,99	1		
T7	0,98	0,99	0,98	0,98	0,99	0,99	1	
T8	0,97	0,99	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	1

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

Após a aferição, os sensores de temperatura do ar foram instalados em uma perfuração no centro de cada placa e no solo a uma profundidade de 5 cm conforme metodologia adotada por RIBEIRO (2016). Cada sensor foi conectado a um datalogger instalado dentro de um abrigo térmico composto de uma caixa plástica com proteção IP65 e proteção UV, com dimensões de 28 x 18 x 14 cm, e os furos para passagem dos cabos dos sensores na caixa foram vedados utilizando prensa cabo de nylon de ¼” conforme ilustrado na FIGURA 15.



Legenda:

- (1) Instalação dos Dataloggers no abrigo de intempéries
- (2) Abrigo térmico confeccionado em EPS

FIGURA 15 – Instalação dos registradores automáticos no local do experimento, onde, (1) Instalação dos Dataloggers no abrigo de intempéries; (2) Abrigo térmico confeccionado em EPS

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

O abrigo térmico foi instalado a uma altura de 10 cm do solo, sendo revestido com placas de EPS, a fim de garantir a proteção térmica nos equipamentos de medição automática.

A medição automática da temperatura nos sensores ocorreu durante julho a outubro, considerando que são os meses de cenário termo higrométrico mais crítico da localidade (SOUZA, 2019; PAULA, 2021). Conforme TABELA 8, os dados coletados e armazenados nos dataloggers a cada 5 minutos durante o mês foram transferidos para um notebook, com o objetivo de liberar a memória do datalogger para a medição do próximo mês.

TABELA 8 – Período de coleta de dados automático de temperatura interna das placas, do solo e temperatura do ar a 1,50 m

Mês	Início		Fim	
	Data	Hora	Data	Hora
Julho	01/07/2022	00h00min	01/08/2022	14h35min
Agosto	02/08/2022	00h00min	01/09/2022	23h55min
Setembro	05/09/2022	00h00min	01/10/2022	11h00min
Outubro	02/10/2022	00h00min	29/10/2022	17h50min

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

Os dados das temperaturas internas obtidas na medição foram utilizados para análise por meio de boxplot do comportamento entre meses e entre materiais e equipamento a 1,5 m de altura. Assim como, para análise por meio de boxplot de variação de comportamento diurno (5h30min a 18h) e noturno (18h01min a 5h29min), considerando o nascer e pôr do sol observado *in loco*.

4.3 MEDIÇÕES DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DAS PLACAS E DO SOLO

A temperatura superficial das placas de concreto, assim como do solo foram medidas por meio de termômetro infravermelho com mira a laser (modelo MT-320B, marca Minipa, Belo Horizonte, Brasil, com resolução de 0,10 °C, precisão de $\pm 1,50$ °C e faixa de medição de -50 a 600 °C). A emissividade no termômetro foi configurada para o uso do material medido (concreto/solo) com o valor de referência do manual do equipamento ($E = 0,92$).

Nesta pesquisa foi adotada as medições de temperatura superficial das placas e do solo de acordo com medição em sua área central com o termômetro posicionado a

uma altura do solo de 70 cm, padronizado a partir de uma medida corporal para facilitar a medição, a cada 1h com quatro repetições por hora, durante 24 horas, em dois dias por mês (TABELA 9).

TABELA 9 - Período de coleta de dados de temperatura superficial das placas e do solo

Mês	Início		Fim	
	Data	Hora	Data	Hora
Julho	05/07/2022	18h00min	06/07/2022	17h00min
	22/07/2022	18h00min	23/07/2022	17h00min
Agosto	05/08/2022	18h00min	06/08/2022	17h00min
	27/08/2022	18h00min	28/08/2022	17h00min
Setembro	06/09/2022	18h00min	07/09/2022	17h00min
	24/09/2022	18h00min	25/09/2022	17h00min
Outubro	14/10/2022	18h00min	15/10/2022	17h00min
	28/10/2022	18h00min	29/10/2022	17h00min

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

A cada 1h, quando se media a P1 e o momento que se media o solo, tinha duração máxima de 1 minuto. As repetições nas medições a cada hora, tinham como objetivo de se evitar defasagem, sempre nos primeiros quatro minutos da hora coletada. Estes deram como resultado uma média que foi considerada a temperatura superficial da placa no respectivo horário.

4.4 SIMULAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Os cenários futuros das mudanças climáticas aplicados neste estudo, foram simulados pelo modelo climático CNRM-ESM2-1 participante do CMIP6, presente no sexto relatório de avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*) (IPCC, 2022).

Como dito, a pesquisa utiliza o modelo climático CNRM-ESM2-1, com o caminho socioeconômico compartilhado (*Shared Socioeconomic Pathways - SSP*) SSP3-7.0 com nível de forçamento 7,0 W/m², na resolução espacial 30 segundos disponibilizados pelo WorldClim⁵ e definido em um subconjunto delimitado para o município de Várzea Grande (HAUSFATHER, 2019), obedecendo a seguinte ordem (FIGURA 16).

⁵ Disponível em: <https://www.worldclim.org/data/index.html>

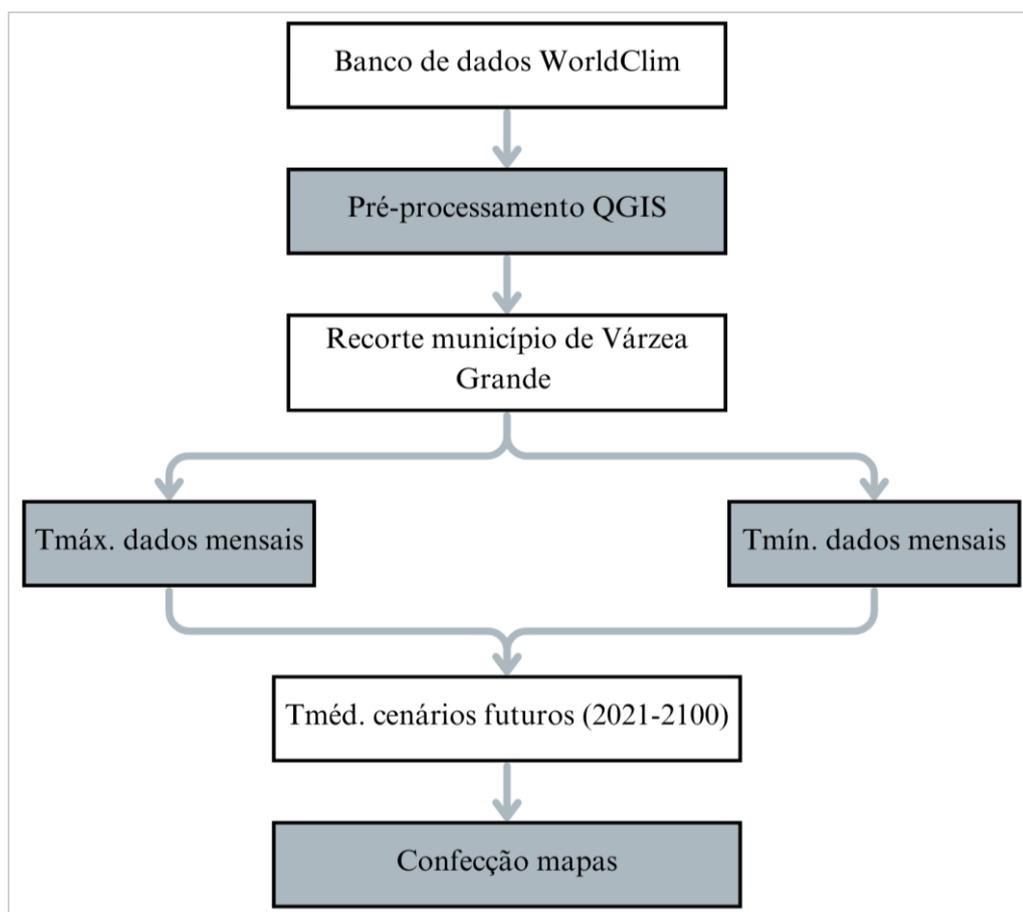


FIGURA 16 - Fluxograma simulação cenários futuros⁶
FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

Sendo assim, a partir da obtenção dos dados pela plataforma do WorldClim, foi realizado um pré-processamento de dados em software de geoprocessamento para recorte da área de abrangência da pesquisa (município de Várzea Grande), sendo que para as projeções futuras foram utilizados dados mensais de temperatura máxima e mínima do ar para gerar as médias mensais, apresentadas nos mapas realizados, considerando o período de 2021-2100, classificados por intervalos de tempo (2021-2040; 2041-2060; 2061-2080; 2081-2100).

4.5 SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO FUTURO DO MATERIAL

O comportamento futuro do material foi obtido por meio de equação de reta de regressão linear da relação entre a temperatura do ar e a temperatura interna da placa.

⁶ Tmáx.: Temperatura máxima; Tmín.: Temperatura mínima; Tméd.: Temperatura média.

Posteriormente, realizou-se a obtenção dos valores de temperatura do ar nos cenários futuros, conforme descrito no item 4.4 *Simulação das mudanças climáticas*.

O valor de temperatura do ar de cenário futuro foi obtido do pixel com coordenadas (56°11'25,69''O; 15°34'58,34''S), pixel onde ficou localizado o equipamento de medição de temperatura instalado a 1,50 m de altura.

A partir das equações encontradas foi substituído o termo "Tar" pelo valor de temperatura do ar oriunda do modelo de cenário futuro considerando os intervalos de tempo 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 e 2081-2100. Com estes resultados foi gerado o boxplot apresentando a variação das temperaturas internas dos meses projetados.

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Análises estatísticas foram realizadas a fim de averiguar se as placas de calçamento urbano apresentavam diferença estatisticamente significativa entre si, ao analisarmos a temperatura interna.

Primeiramente os dados foram submetidos a teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, com grau de confiança de 95% e nível de significância de 5%. Neste caso, se considerar o p -valor $< 0,05$, os dados não apresentam distribuição normal.

A fim de se testar se houve ou não diferença significativa entre as coletas de cada placa de calçamento urbano foi utilizado o teste não paramétrico denominado Kruskal-Wallis. Para tal, foi considerado o nível de significância de 5%, sendo assim, para valor de $p \leq 0,05$ (nível de significância), apresenta-se diferenças significativas estatisticamente (SABINO et al., 2017).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados e as discussões desta pesquisa organizados em três etapas, sendo:

a) Análise do comportamento térmico interno e superficial das placas, comportamento térmico do solo e do ar a 1,50 m do solo. Nesta mesma etapa estão apresentados os resultados das análises estatísticas.

b) Análise dos cenários futuros provenientes do modelo climático analisado para o município de Várzea Grande - MT.

c) E por fim, a análise da simulação do comportamento térmico das placas produzidas nesta pesquisa sobre influência dos cenários futuros do clima.

5.1 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO

A fim de caracterizar o comportamento atual das placas produzidas nesta pesquisa, foi analisado inicialmente seu comportamento térmico interno nos meses de julho, agosto, setembro e outubro, sendo estes os meses de maior rigor climático na região (PAULA, 2021; SOUZA, 2019), meses do período seco.

A FIGURA 17 apresenta boxplot das temperaturas internas das placas 1 a 6, da temperatura do solo e a temperatura do ar à 1,5 m do solo durante julho a outubro de 2022.

As maiores amplitudes térmicas no solo e a 1,5 m de altura (nível do pedestre) ocorreram em todos os materiais durante os meses de julho e agosto.

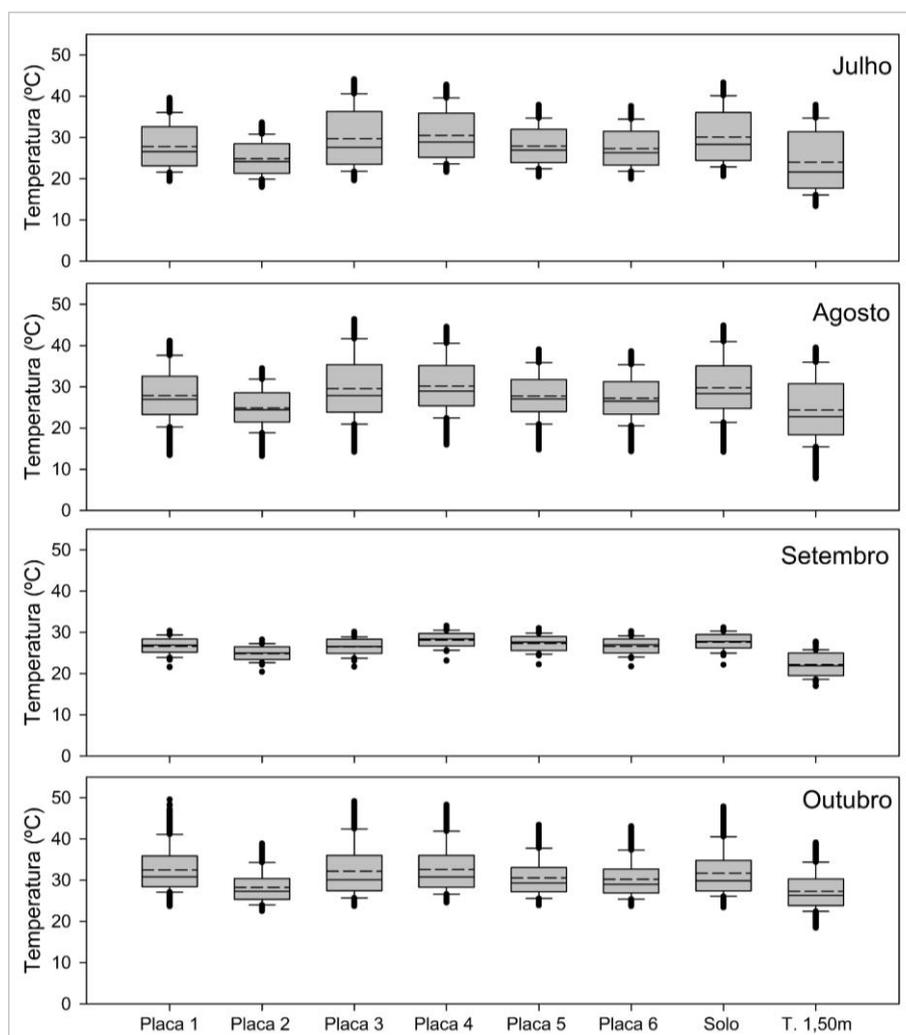


FIGURA 17 – Boxplot da temperatura internas das placas 1 a 6, da temperatura do solo e a 1,5 m do solo medidos a cada 5 minutos durante julho a outubro de 2022. O gráfico representa o máximo e o mínimo, e primeiro e terceiro quartil dos dados. A linha sólida representa a mediana e a tracejada a média

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

Durante julho, as placas que apresentaram maior desvio padrão foram as de concreto permeável (P3 e P4), com 12,3 °C e 12,0 °C, respectivamente. A placa de referência, calçamento tradicional, P1, apresentou temperatura interna mínima de 15,4 °C e máxima de 45,3 °C. A temperatura interna máxima ocorreu na P3, concreto permeável, com 56,2 °C, porém a mesma placa apresentou a mínima temperatura interna, 14,7 °C.

Suzuki, Azevedo e Junior (2013) relataram que em ambientes de baixa umidade os pavimentos frios provenientes do concreto permeável apresentam alta amplitude térmica, dado a sua porosidade. No presente estudo, reforça-se que a P3, foi

produzida com brita 1, sendo a P4 produzida com brita 0, dada a maior dimensão do agregado da P3, possui maior quantidade de vazios e poros.

Em agosto houve um acréscimo nas temperaturas internas máxima e mínima em todas as placas. A P3, de concreto permeável permaneceu com maior amplitude, 13,4 °C. Sua alta porosidade proveniente de sua composição com ausência de materiais finos é relacionada a sua condutividade térmica, segundo Ramos et al. (2021) há uma relação inversamente proporcional entre o índice de vazios e a condutividade térmica do material.

Em setembro, mês com ausência de precipitação, houve menor amplitude térmica nas placas, observa-se assim que a temperatura do solo foi superior que a temperatura interna nas placas, inclusive em relação a temperatura do ar a 1,5 m. Possivelmente porque os materiais sofreram maior influência do aquecimento proveniente do solo exposto do entorno do que em relação a temperatura do ar. Considerando as médias das temperaturas internas nas placas, medidas em setembro, a P2 apresentou menor temperatura média (32,7 °C), provavelmente devido a sua maior refletância, dada a sua composição com cimento branco. Wu et al. (2017) mencionaram que pavimentos frios com alta refletância são capazes de reduzir a temperatura do material em relação a pavimentos convencionais.

Em outubro ocorreram as máximas temperaturas nas placas. A P3 alcançou 10 °C a mais que a P1 (placa de referência). Durante julho a outubro, a P5 e P6 apresentam mesma amplitude térmica, porém a P6 apresentou temperaturas inferiores. Apesar de a P6 apresentar menor percentual de cimento branco, em relação a P5, destaca-se a possibilidade de os agregados serem de tonalidades mais claras o que poderia acarretar em uma diminuição de temperatura e aumento de refletância. Segundo Maruyama (2020) a refletância, ou albedo, do concreto sofre influência de sua composição como: cimento, agregados graúdos e miúdos.

A FIGURA 18 apresenta o boxplot da temperatura internas das placas 1 a 6 medidos a cada 5 minutos no período diurno (5h30min a 18h) e noturno (18h01min a 5h29h) durante julho a outubro de 2022. Este gráfico analisa a variação de temperatura interna do material entre período diurno e noturno, em que as menores temperaturas internas ocorreram na P2.

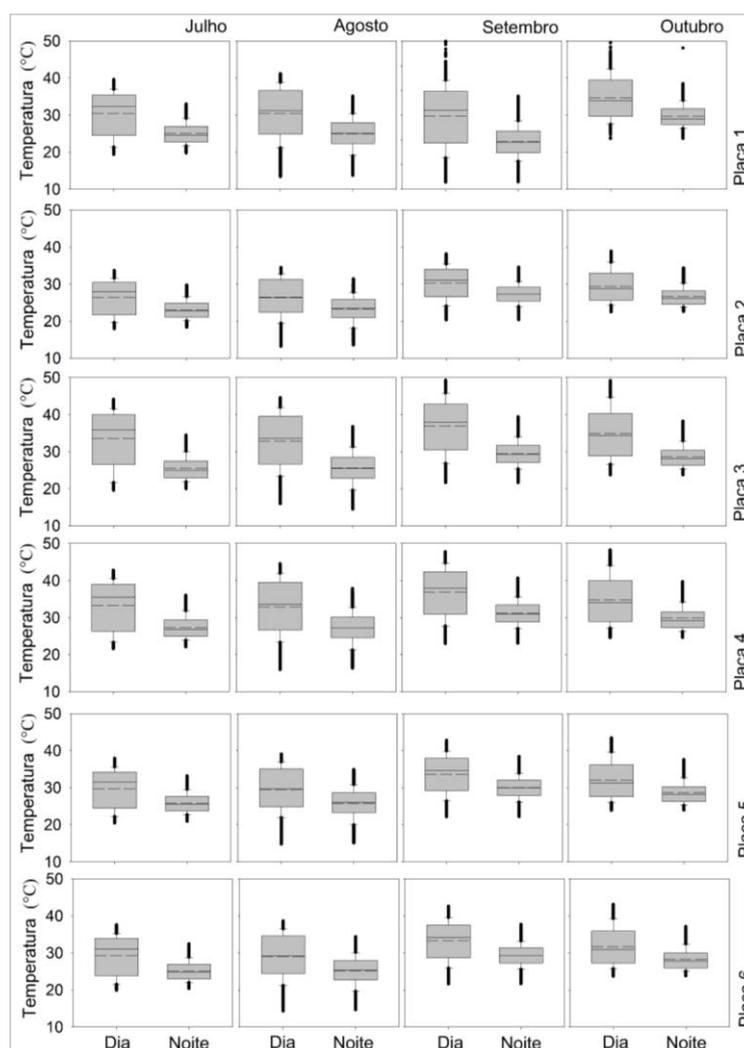


FIGURA 18 - Boxplot da temperatura internas das placas 1 a 6 medidos a cada 5 minutos no período diurno (5h30min a 18h) e noturno (18h01min a 5h29h) durante julho a outubro de 2022. O gráfico representa o máximo e o mínimo, e primeiro e terceiro quartil dos dados. A linha sólida representa a mediana e a tracejada a média
FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

As máximas temperaturas ocorreram nas placas entre 12 e 14h em julho, corroborando com horário de maior incidência de radiação solar (SOUZA, 2016) e com tempo de aquecimento do material, apresentando máximas temperaturas em horários mencionados em outras pesquisas (RIBEIRO, 2016). Durante agosto, setembro e outubro, as máximas temperaturas internas nas placas ocorrem entre 14 e 16h. Esta defasagem no aquecimento do material pode estar relacionado a maior nebulosidade e redução de umidade relativa da região (TEIXEIRA et al., 2021).

Considerando as temperaturas internas médias durante o período diurno em agosto, as temperaturas nas placas foram superiores a medição de temperatura do ar a 1,50 m do solo (28,3 °C), atingindo um aumento de 20% na P3 (33,1 °C).

Sobre a amplitude térmica diurna, a placa que apresentou maior amplitude térmica interna foi a P3, porém ao analisar o período noturno o desvio padrão foi superior na P4. Contudo, analisando o contexto geral, o material com a maior capacidade de atenuar o aquecimento, (que neste estudo foi diminuir a temperatura da placa de referência), foi na P2, atingindo as vezes, temperaturas internas inferior a temperatura do ar, e sempre inferior a placa de referência, P1.

Reforça-se que a P2, é a placa com composição de 100% de cimento branco, sendo assim, um material com alta refletância. Segundo Castro et. al. (2017), em estudo de diferentes materiais de construção civil, encontraram que materiais com pigmentação mais branca possuem uma faixa mais ampla de frequências eletromagnéticas que não são absorvidas, principalmente na faixa de infravermelho. Portanto, a P2, apresentaria uma menor absortância, e conseqüentemente, um menor aquecimento do material.

Giorio & Paparella, 2023, em estudo sobre mitigação climática por meio de uso de pavimentos frios afirmam que o aumento do albedo do material urbano pode reduzir significativamente a temperatura interna e superficial do material durante o período diurno em meses quentes.

A fim de facilitar a compreensão das diferenças térmicas internas entre as placas e o solo, em relação a P1 que é a placa de referência representando o calçamento urbano comumente utilizado, a TABELA 10 apresenta a diferença entre os períodos diurno e noturno em cada mês de medição.

TABELA 10 – Diferenças térmicas internas (ΔT , °C) entre a placa de referência 1 e as placas 2 a 6 e o solo durante os períodos diurno e noturno em julho a outubro de 2022

Mês/período	ΔT (P2-P1)	ΔT (P3-P1)	ΔT (P4-P1)	ΔT (P5-P1)	ΔT (P6-P1)	ΔT (Solo-P1)
Julho/dia	-3,95	3,15	2,89	-0,62	-1,04	3,28
Julho/noite	-1,93	0,41	2,33	0,79	0,08	1,18
Agosto/dia	-4,07	2,77	2,47	-0,88	-1,35	2,58
Agosto/noite	-1,74	0,55	2,24	0,77	0,18	1,25
Setembro/dia	-4,53	2,06	1,98	-1,15	-1,60	2,15
Setembro/noite	-2,31	-0,13	1,56	0,36	-0,28	0,93
Outubro/dia	-5,22	0,25	0,07	-2,63	-2,96	-0,64
Outubro/noite	-2,97	-1,01	0,16	-1,06	-1,35	-1,02

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

Durante outubro, as temperaturas internas nas P2, P5 e P6 foram inferiores a P1 aproximadamente 2 °C no período noturno. No período diurno, houve redução na temperatura interna em P2 em relação a P1 em todos os meses, reduzindo entre 3,95 e 5,22 °C.

Com base nas diferentes térmicas entre a P4 e P1, a P4 se apresentou como proposta pior de calçamento urbano, devido ao aumento de temperatura interna considerando a localidade e os meses analisados, nos períodos diurno e noturno. Li et al. (2013) mencionaram que a menor refletância solar associada a dificuldade de manter o teor de água nos pavimentos permeáveis, são os principais problemas apresentados. Os autores ainda reforçaram que na ausência de água nestes pavimentos, eles se apresentam mais aquecidos que pavimentos normais, o que corrobora com esta pesquisa observando as temperaturas internas superiores na P3 e P4 em relação a P1.

Durante outubro, mês com melhoria de umidade relativa do ar, constata-se uma melhoria no desempenho térmico (redução de temperatura interna) nos pavimentos permeáveis, P3 e P4, porém ainda muito sutil comparado a propostas que trabalham uma melhoria e acréscimo de refletância no material como P2, P5 e P6. Por conta disso, os pavimentos permeáveis são mais indicados a localidades de clima úmido, e geralmente, são mais eficazes no resfriamento dos mesmos, apenas até dois dias depois de evento de precipitação (LI et al., 2013; ANUPAM et al., 2021).

Por meio da análise estatística de normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov foi constatado que as temperaturas internas nas placas não apresentam normalidade, e por meio do teste de Kruskal-Wallis que todas as amostras possuem diferenças significativas entre si, com valor $p \leq 0,001$.

A FIGURA 19 apresenta o ciclo diário da temperatura superficial (°C) nas placas 1 a 6 e no solo durante julho a outubro, onde as máximas temperaturas superficiais ocorreram em torno das 12h.

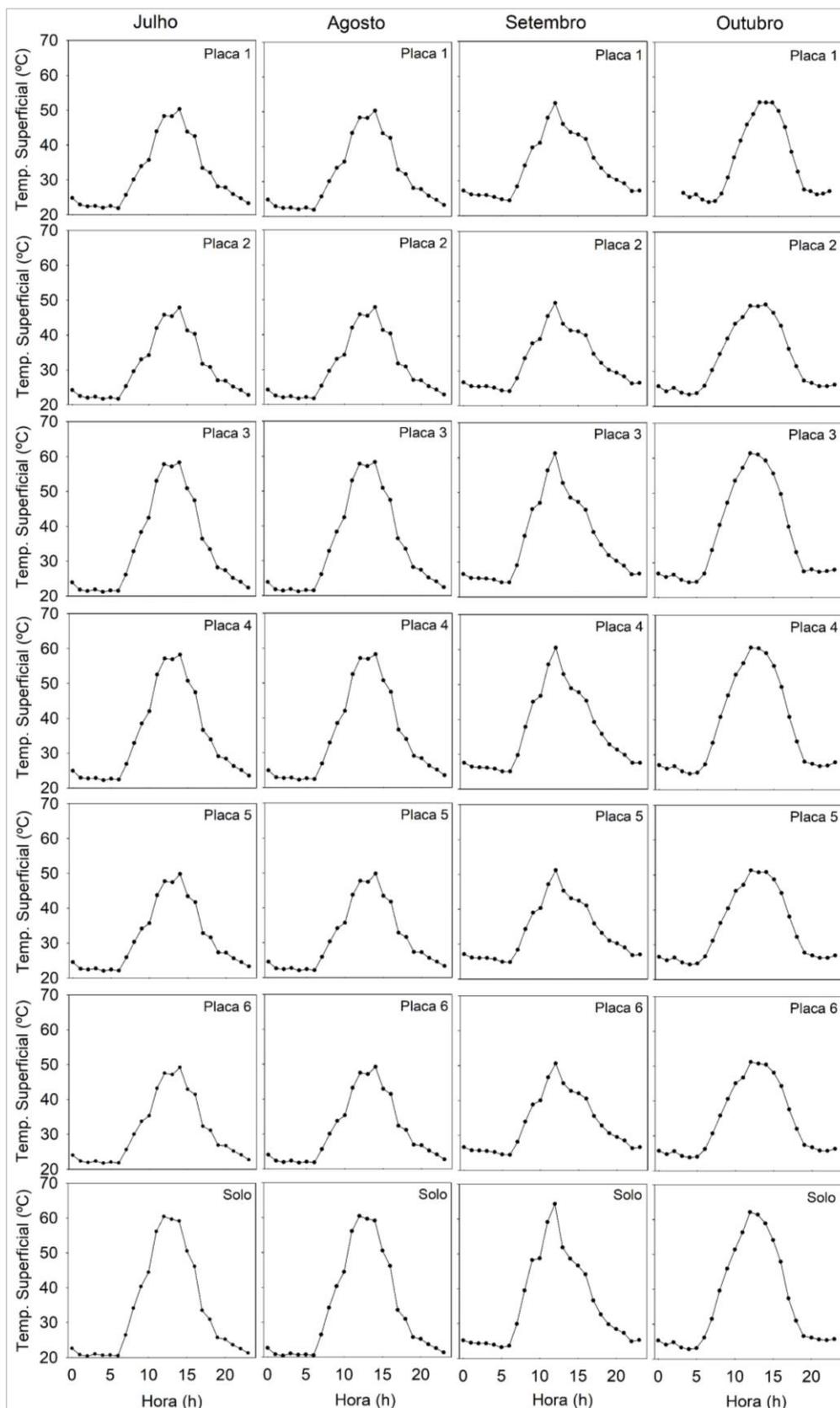


FIGURA 19 – Ciclo diário da temperatura superficial (°C) nas placas 1 a 6 e no solo durante julho a outubro

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

Durante outubro, o ciclo diário de temperatura superficial foi menos acentuado, com o aumento e diminuição de temperatura ocorrendo de forma mais gradativa, comparado aos demais meses em que há um pico de temperatura às 12h. Provavelmente, este pico na temperatura ocorreu devido ao aumento da radiação solar, em que a energia recebida é armazenada no material, sendo liberada para o ar por meio de convecção e radiação durante o período do meio da tarde em diante.

Segundo Callejas et al. (2015), a partir do início do período vespertino, à medida em que a radiação solar diminui, o material urbano é capaz de, gradativamente, liberar o calor armazenado.

Durante julho, a média da temperatura superficial foi superior na P4 (34,4° C), e inferior na P2 (30,4 °C), enquanto na P1, placa de referência, foi 31,5 °C, mesmo comportamento ocorreu em agosto e setembro, diferenciando em outubro, em que a média da temperatura superficial foi superior na P3. De qualquer forma, as P3 e P4, placas com concretos permeáveis apresentam maior temperatura, dado que pavimentos permeáveis, ou denominados de pavimentos evaporativos utilizam o calor latente absorvido e a água e umidade mantida pelo material para o processo de resfriamento evaporativo (ANUPAM et al., 2021).

As maiores temperaturas ocorreram entre as 10h e 15h, horários em que os materiais das placas apresentam maior fluxo de calor, corroborando com Callejas (2012) que ao estimar o calor armazenado dentro do dossel urbano de Cuiabá, cidade vizinha a localidade da pesquisa, verificou que o valor máximo de fluxo de calor ocorreu às 11h30min, com intensidade de 134,9 W·m⁻².

Por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov, constatou-se que as temperaturas superficiais das placas não apresentaram normalidade, e por meio do teste de Kruskal-Wallis, constatou-se que as placas possuem diferenças significativas entre si, com valor $p \leq 0,001$.

5.2 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS

A FIGURA 20 apresenta um boxplot da média mensal de temperatura média do ar na cidade Várzea Grande, Mato Grosso, Brasil, nos cenários futuros 2021-2040; 2041-2060; 2061-2080 e 2081-2100. Considerando os cenários de projeções futuras, em todos os meses do ano, observou-se que o intervalo interquartil foi ligeiramente maior nos meses de primavera (entre setembro e dezembro).

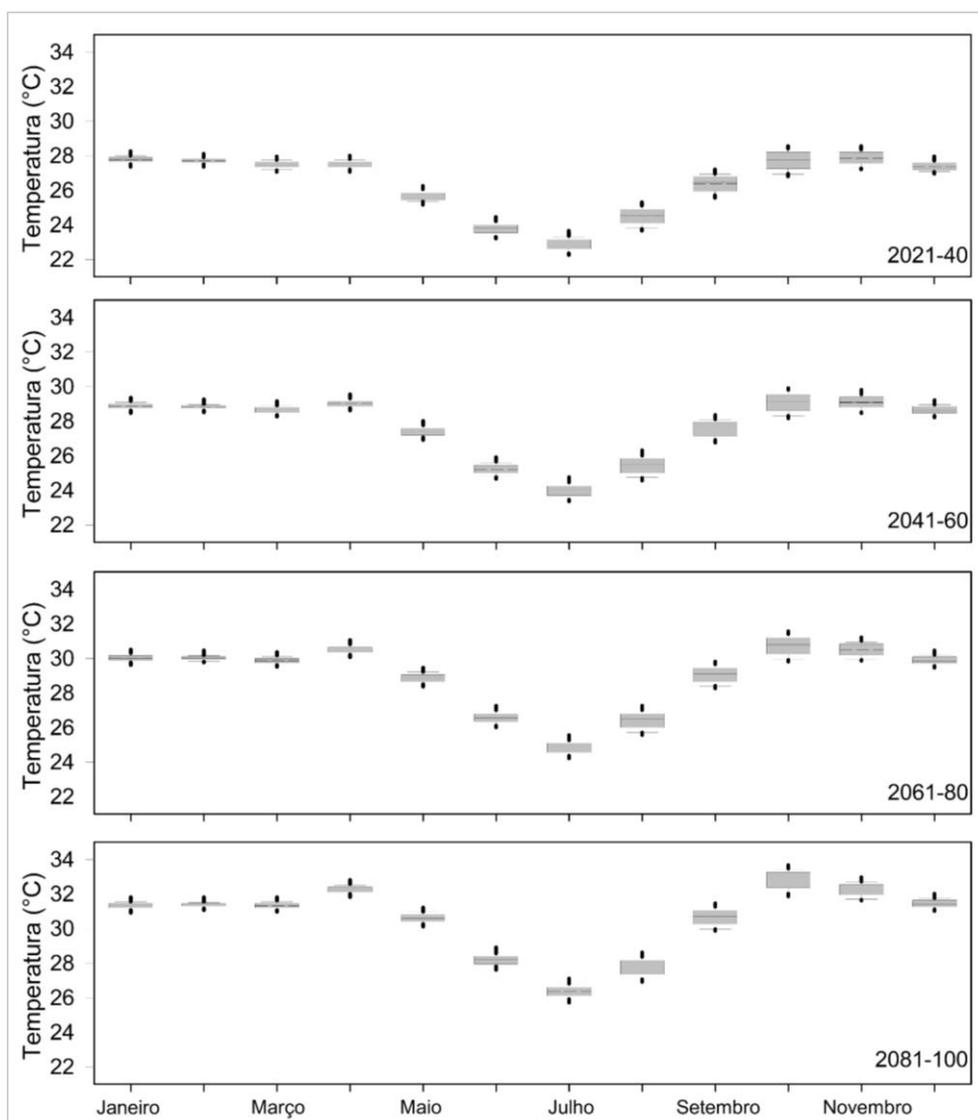


FIGURA 20 - Boxplot da média mensal de temperatura média do ar na cidade Várzea Grande, Mato Grosso, Brasil, nos cenários futuros 2021-2040; 2041-2060; 2061-2080 e 2081-2100. O gráfico representa o máximo e o mínimo, e primeiro e terceiro quartil dos dados. A linha sólida representa a mediana e a tracejada a média
FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

A variação sazonal da temperatura do ar das projeções nos cenários futuros, de maneira geral apresenta maiores temperaturas nos meses chuvosos e menores nos meses secos. Ressalta-se o mês de abril, em que houve um leve aumento em relação ao mês de março (~1 °C) em todos os cenários. De maneira geral, os estudos de modelos climáticos tendem a projetar maior diferença do cenário atual nas estações úmidas, dada as alterações no ciclo hidrológico (NAITZEL, 2021).

Em um estudo sobre projeção de cenários futuros das mudanças climáticas na bacia hidrográfica do Rio Cuiabá foi verificado uma redução de aproximadamente 6%

da precipitação acumulada (mm) na região em relação a precipitação total (ALVES, 2022). Diversos estudos mencionam a tendência na redução da precipitação ao longo das décadas, associando esta redução a fatores como a urbanização, alteração do uso e da cobertura do solo, sobretudo ao desmatamento, e conseqüentemente alterando o ciclo hidrológico (ZHANG et al., 2022; NAITZEL, 2021).

Com relação a variação mensal das temperaturas médias, as mínimas ocorreram em julho em todos os cenários (22,8 °C; 23,9 °C; 24,8 e 25,3 °C). Quanto as máximas ocorreram em outubro em todos os cenários (27,7 °C; 29,1 °C; 30,7 °C; 32,8 °C). Corroborando com a distribuição temporal encontrada por Alves (2022) em estudo com mesmo modelo climático, porém com diferente cenário socioeconômico (SSP1-2.6).

Nos cenários futuros, a tendência foi o aumento de temperaturas média em todos os meses em relação aos cenários anteriores, porém com maiores aumentos em meses distintos (TABELA 11).

TABELA 11 – Diferença térmica (ΔT , °C), entre os cenários futuros em janeiro a dezembro

Mês	ΔT (41-60) - (21-40)	ΔT (61-80) - (41-60)	ΔT (81-100) - (61-80)
Janeiro	1,10	1,15	1,29
Fevereiro	1,11	1,20	1,35
Março	1,17	1,24	1,44
Abril	1,52	1,48	1,76
Maió	1,74	1,45	1,75
Junho	1,45	1,35	1,63
Julho	1,12	0,84	1,52
Agosto	0,94	0,98	1,35
Setembro	1,17	1,51	1,60
Outubro	1,36	1,65	2,07
Novembro	1,23	1,42	1,74
Dezembro	1,25	1,25	1,55

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

Com relação aos cenários de 2021-2040 e 2041-2060 houve um aumento percentual maior nos meses de maio e junho, de 6,77% e 6,10%, e um aumento menor nos meses de agosto e janeiro, de 3,80% e 3,85%, respectivamente. Este aumento variou quando analisado os cenários de 2041-2060 e 2061-2080, quando os maiores aumentos ocorreram em outubro e setembro, com 5,66% e 5,48%, e os menores aumentos de 3,49% e 3,83%, em julho e agosto. Analisando os cenários de 2061-80 e 2081-2100 os aumentos foram ainda maiores com 6,75% em outubro e 6,11% em

junho. Os menores aumentos nestes cenários ocorreram em janeiro com 4,28% e em fevereiro com 4,49%.

Considerando a diferenciação entre os meses de período quente-seco (maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro) e os meses de período quente-úmido (novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril), os maiores aumentos no fim do século XXI serão nos meses de período quente-seco com aumento de aproximadamente 5 °C (mês de outubro). O período quente-úmido apresentará um aumento de aproximadamente 4,76 °C (mês de abril). Ressalta-se que os meses de abril e outubro são meses de transição entre os períodos quente-úmido e quente-seco, onde a variação de precipitação imposta pelo modelo climático analisado traria cenários mais aquecidos (MAITELLI, 1994; ALVES, 2022).

A FIGURA 21 apresenta o mapeamento da temperatura média para os cenários futuros 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 e 2081-2100, respectivamente, no município de Várzea Grande-MT.

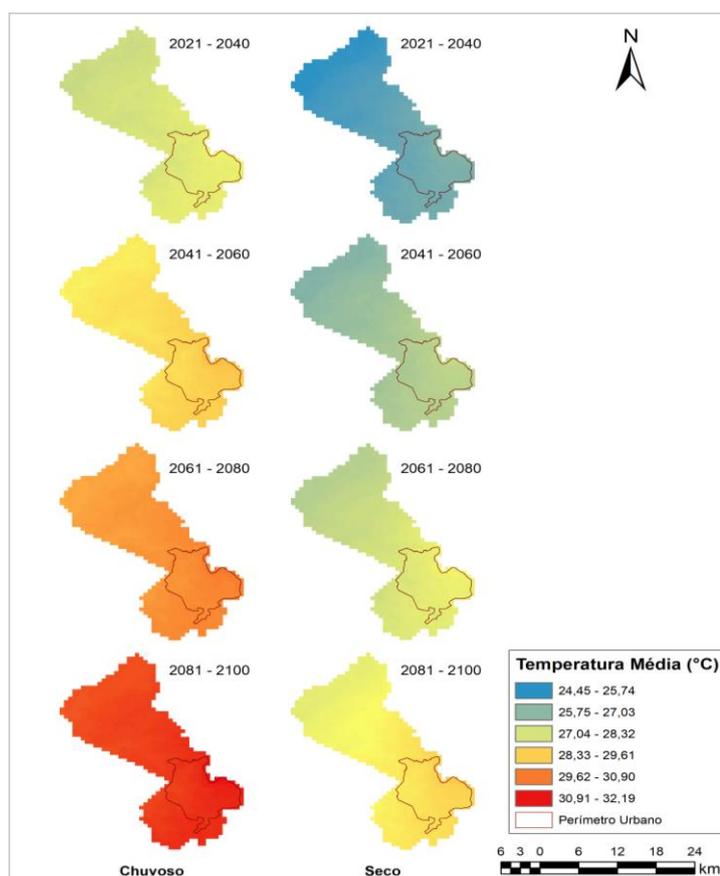


FIGURA 21 - Mapeamento da temperatura média para os cenários futuros 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 e 2081-2100, respectivamente, no município de Várzea Grande-MT

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

A sazonalidade das projeções de temperatura média nos cenários futuros não apresentou grandes mudanças em relação ao cenário atual, onde as menores temperaturas são distribuídas no período seco e maiores temperaturas no período chuvoso, na região (SIQUEIRA, 2019).

Considerando a distribuição espacial do aumento de temperatura média entre os períodos chuvoso e seco, identifica-se um gradiente crescente na distribuição espacial na direção noroeste. Destaca-se que dados os limites do município, provavelmente esta região será a área em que ocorrerá a expansão urbana, a partir do desmatamento de regiões de formação savânica (cerrado).

Segundo Wanderley et al. (2019), em estudo de temperatura da superfície terrestre e áreas urbanizadas, há relação entre a temperatura terrestre e área urbanizada, indicando que um aumento em torno de 25% de áreas desmatadas resultaria em um aumento de 1 °C na temperatura da superfície da região.

Destaca-se que no período chuvoso há uma maior amplitude térmica, ou seja, maior diferença entre a máxima e mínima temperatura. Dado que, o vapor d'água na atmosfera facilita a absorção de calor, agindo como um termorregulador, assim como dificulta a perda de calor urbano. O período chuvoso, apesar da presença de nebulosidade proveniente de precipitação apresenta maior quantidade de radiação solar global (SOUZA, 2016; ALVES, 2022).

Enquanto no período seco há presença de queimadas na região provenientes do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães. Gonçalves et al. (2015) apontaram que o clima regional é extremamente afetado por partículas de aerossóis provenientes de queimadas. Outrossim, Marengo et al., 2018 afirmaram que a floresta Amazônica está sujeita a períodos atipicamente secos, aumentando risco de supressão de vegetação e alterando o início da estação chuvosa em toda a região circundante.

De uma maneira geral, há um consenso das pesquisas sobre mudanças climáticas, estudos de modelos climáticos, em que ocorrerá a diminuição significativa de precipitação no centro do território brasileiro, com aumentos de eventos extremos de secas prolongadas em bioma como o Cerrado (SOUZA et al., 2016; MARCHI et al., 2022).

Para complementar a discussão, foi realizado o mapeamento da temperatura do ar média mensal em julho, agosto, setembro e outubro (meses de medição *in loco*) nos cenários futuros 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 e 2081-2100 (FIGURA 22).

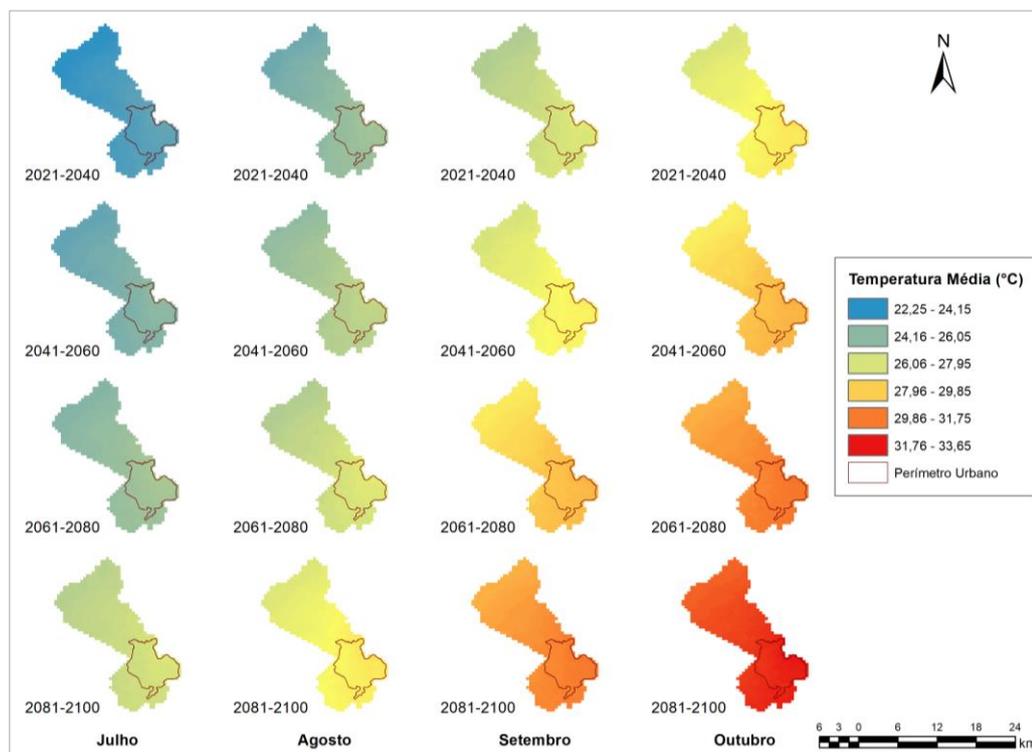


FIGURA 22 - Mapeamento da temperatura do ar média mensal em julho, agosto, setembro e outubro (meses de medição *in loco*) nos cenários futuros 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 e 2081-2100

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

Corroborando com o apresentado na TABELA 11, houve um aumento na temperatura do ar significativo simulada nos cenários futuros, principalmente no mês de outubro, em que a temperatura média varia de ~29 °C em 2021-2040 alcançando 33,6 °C em 2081-2100. De acordo com Sousa et al. (2019), o aumento da temperatura do ar corrobora para o aumento da evapotranspiração potencial, e por consequência, uma redução da precipitação, intensificando o déficit hídrico.

Conforme FIGURA 22, durante julho houve uma redução na temperatura do ar em relação a junho. Entretanto, a partir de julho houve um aumento na temperatura do ar média nos cenários futuros, durante agosto e setembro ocorrem os maiores aumentos, com amplitude térmica de 1,88 °C, 2,11 °C, 2,65 °C e 2,90 °C, nos cenários 2021-40, 2041-60, 2061-80 e 2081-100, respectivamente.

Com o avanço dos cenários futuros e os meses analisados há um aumento do valor entre os meses, isto é, no cenário de 2081-2100 os aumentos entre os meses são maiores do que o encontrado no cenário de 2021-2040. Exceto no mês de agosto, no cenário de 2041-2060, que em relação ao mês de julho apresentou aumento de 1,44 °C, valor menor que o aumento registrado no cenário de 2021-2040 (1,62 °C), e no cenário de 2081-2100 apresentou aumento de 1,41 °C, valor menor que o aumento encontrado no cenário de 2061-2080 (1,58 °C).

Exposto isto, destaca-se a necessidade de se aprofundar as pesquisas científicas em busca de melhorias possíveis ao meio urbano dada as projeções climáticas futuras.

5.3 SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO FUTURO DO MATERIAL

As equações das retas e correlação obtidas da regressão linear das placas e a temperatura do ar (°C) concomitantes, são apresentadas na TABELA 12.

TABELA 12 - Equações das retas e correlação obtidas da regressão linear das placas e a temperatura do ar (°C) concomitantes

Placa	Equação	R	Rsq
P1	= 8,478+(0,827* T_{ar})	0,924	0,85
P2	=11,003+(0,601* T_{ar})	0,889	0,791
P3	= 5,204+(1,005* T_{ar})	0,948	0,899
P4	=9,728+(0,855* T_{ar})	0,920	0,846
P5	= 11,839+(0,681* T_{ar})	0,898	0,807
P6	=10,996+(0,694* T_{ar})	0,906	0,822

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

Analisando a necessidade de se buscar materiais com maior capacidade de atenuar o aquecimento aos futuros cenários climáticos, propõe-se a simulação do comportamento térmico das placas produzidas nesta pesquisa. Para tal, a partir da equação da reta obtida da regressão linear entre a temperatura do ar (1,5 m de altura, nível do pedestre) e a temperatura interna do material foi considerada a temperatura do ar do cenário futuro para aferição da temperatura interna do material proposto. Reforça-se que a temperatura do ar obtida dos cenários futuros é proveniente do pixel de atual localização da pesquisa (Campus Várzea Grande – IFMT). Os resultados obtidos se encontram na FIGURA 23.

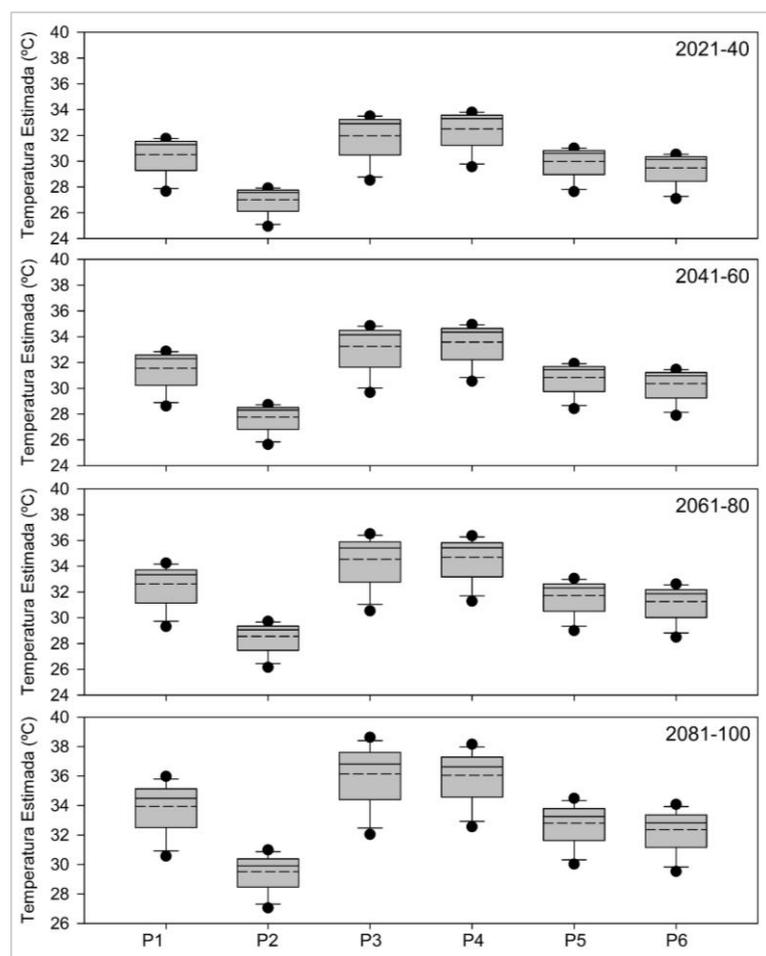


FIGURA 23 - Boxplot gerado a partir da equação da reta obtida da regressão linear entre a temperatura do ar (1,5 m de altura, nível do pedestre) e a temperatura interna do material considerando a temperatura do ar do cenário futuro para aferição da temperatura interna do material, na cidade Várzea Grande, Mato Grosso, Brasil, nos cenários futuros 2021-2040; 2041-2060; 2061-2080 e 2081-2100. O gráfico representa o máximo e o mínimo, e primeiro e terceiro quartil dos dados. A linha sólida representa a mediana e a tracejada a média. *O interquartil representa o comportamento dos doze meses do ano do cenário e material analisado.

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

O comportamento entre os cenários é similar, analisando a amplitude interquartílica e a assimetria dos dados, já demonstrando uma possível não normalidade estatística, o que foi confirmado por meio de teste de Kolmogorov-Smirnov.

As maiores amplitudes são observadas nas placas de concreto permeável, com desvio padrão $\sim 1,70$ °C em ambos os cenários futuros, na P3. É notório o melhor desempenho térmico da P2, obtendo em todos os cenários futuros temperaturas internas abaixo de 30 °C, em comparação a P3 e P4, que sempre atingem temperaturas superiores a 34 °C.

Para facilitar a discussão, foi realizado o cálculo da variação de temperatura média projetada entre os cenários dos materiais propostos, e acrescentada a variação da temperatura do solo e temperatura a 1,50 m (nível do pedestre) (TABELA 13).

TABELA 13 - Diferença térmica (ΔT , °C), da temperatura média projetada entre os cenários futuros dos materiais propostos, e acrescentada a variação da temperatura do solo e a 1,50 m (nível do pedestre)

Cenário	P1	P2	P3	P4	P5	P6	T_Solo	T_1,5m
2040-2060	1,04	0,76	1,27	1,08	0,86	0,88	1,16	1,24
2061-2080	1,07	0,78	1,30	1,10	0,88	0,90	1,19	1,27
2081-2100	1,32	0,96	1,60	1,36	1,08	1,10	1,47	1,56
Total	3,43	2,50	4,17	3,54	2,82	2,88	3,82	4,07

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

Destaca-se que na tabela está expresso o aumento da projeção da temperatura média interna no caso dos materiais e solo, e a projeção de aumento de temperatura média do ar no nível do pedestre nos cenários de 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100. O cenário de 2021-40 foi tomado como base para o cálculo proveniente, sendo assim, está desconsiderado o que seria o aumento do cenário de 2021-2040 em relação aos dias atuais.

Dito isto, observa-se que os materiais com maior aumento de temperatura seriam a P3 e P4, com 4,17 e 3,54 °C, sendo os maiores aumentos no cenário de 2080-2100. Isto é devido ao fato de o modelo considerar a redução da precipitação e umidade nos cenários futuros, o que agravaria o comportamento térmico dos materiais permeáveis (ANUPAM et al., 2021).

As placas P5 e P6 apresentaram comportamentos similares, com aumento total de 2,82 e 2,88 °C, respectivamente. Porém o melhor desempenho térmico do material observado foi da P2 que apresentou um aumento de somente 2,50 °C nos cenários futuro, um aumento de temperatura 40% menor que o aumento na projeção de temperatura do ar (1,50 m). Reforça-se que o aumento da temperatura do ar a 1,50 m acarretará maior desconforto humano, sendo este aumento mais suscetível a liberação de calor de materiais urbanos.

Para compreensão da variação temporal dos materiais, solo e temperatura do ar 1,5m nos cenários futuros em relação aos meses anteriores, foi computada a diferença entre o mês analisado e o mês anterior, demonstrando se houve aumento ou redução. Os resultados são apresentados na TABELA 14.

TABELA 14 - Variação temporal dos materiais, solo e temperatura do ar 1,5m nos cenários futuros em relação aos meses anteriores, considerando a diferença entre o mês analisado e o mês anterior, demonstrando se houve aumento ou redução

2021-2040	P1	P2	P3	P4	P5	P6	T_Solo	T_1,5m
Janeiro	0,29	0,21	0,35	0,30	0,24	0,24	0,32	0,34
Fevereiro	-0,04	-0,03	-0,05	-0,04	-0,03	-0,03	-0,05	-0,05
Março	-0,21	-0,15	-0,25	-0,21	-0,17	-0,17	-0,23	-0,25
Abril	0,08	0,06	0,10	0,09	0,07	0,07	0,09	0,10
Maio	-1,49	-1,08	-1,81	-1,54	-1,23	-1,25	-1,66	-1,77
Junho	-1,53	-1,11	-1,86	-1,58	-1,26	-1,28	-1,71	-1,81
Julho	-0,70	-0,51	-0,85	-0,73	-0,58	-0,59	-0,78	-0,83
Agosto	1,41	1,02	1,71	1,45	1,16	1,18	1,57	1,67
Setembro	1,53	1,11	1,86	1,58	1,26	1,28	1,71	1,81
Outubro	1,16	0,84	1,41	1,20	0,95	0,97	1,29	1,37
Novembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dezembro	-0,50	-0,36	-0,60	-0,51	-0,41	-0,42	-0,55	-0,59
2041-2060	P1	P2	P3	P4	P5	P6	T_Solo	T_1,5m
Janeiro	0,17	0,12	0,20	0,17	0,14	0,14	0,18	0,20
Fevereiro	-0,08	-0,06	-0,10	-0,09	-0,07	-0,07	-0,09	-0,10
Março	-0,08	-0,06	-0,10	-0,09	-0,07	-0,07	-0,09	-0,10
Abril	0,33	0,24	0,40	0,34	0,27	0,28	0,37	0,39
Maio	-1,28	-0,93	-1,56	-1,33	-1,06	-1,08	-1,43	-1,52
Junho	-1,78	-1,29	-2,16	-1,84	-1,46	-1,49	-1,98	-2,11
Julho	-0,95	-0,69	-1,16	-0,98	-0,78	-0,80	-1,06	-1,13
Agosto	1,24	0,90	1,51	1,28	1,02	1,04	1,38	1,47
Setembro	1,70	1,23	2,06	1,75	1,40	1,42	1,89	2,01
Outubro	1,32	0,96	1,61	1,37	1,09	1,11	1,48	1,57
Novembro	-0,08	-0,06	-0,10	-0,09	-0,07	-0,07	-0,09	-0,10
Dezembro	-0,50	-0,36	-0,60	-0,51	-0,41	-0,42	-0,55	-0,59
2061-2080	P1	P2	P3	P4	P5	P6	T_Solo	T_1,5m
Janeiro	0,08	0,06	0,10	0,09	0,07	0,07	0,09	0,10
Fevereiro	-0,04	-0,03	-0,05	-0,04	-0,03	-0,03	-0,05	-0,05
Março	-0,04	-0,03	-0,05	-0,04	-0,03	-0,03	-0,05	-0,05
Abril	0,50	0,36	0,60	0,51	0,41	0,42	0,55	0,59
Maio	-1,28	-0,93	-1,56	-1,33	-1,06	-1,08	-1,43	-1,52
Junho	-1,86	-1,35	-2,26	-1,92	-1,53	-1,56	-2,07	-2,21
Julho	-1,36	-0,99	-1,66	-1,41	-1,12	-1,15	-1,52	-1,62
Agosto	1,36	0,99	1,66	1,41	1,12	1,15	1,52	1,62
Setembro	2,11	1,53	2,56	2,18	1,74	1,77	2,35	2,50
Outubro	1,45	1,05	1,76	1,50	1,19	1,21	1,61	1,72
Novembro	-0,29	-0,21	-0,35	-0,30	-0,24	-0,24	-0,32	-0,34
Dezembro	-0,62	-0,45	-0,75	-0,64	-0,51	-0,52	-0,69	-0,74
2081-2100	P1	P2	P3	P4	P5	P6	T_Solo	T_1,5m
Janeiro	-0,12	-0,09	-0,15	-0,13	-0,10	-0,10	-0,14	-0,15
Fevereiro	0,04	0,03	0,05	0,04	0,03	0,03	0,05	0,05
Março	-0,04	-0,03	-0,05	-0,04	-0,03	-0,03	-0,05	-0,05
Abril	0,83	0,60	1,01	0,86	0,68	0,69	0,92	0,98
Maio	-1,32	-0,96	-1,61	-1,37	-1,09	-1,11	-1,48	-1,57
Junho	-1,98	-1,44	-2,41	-2,05	-1,63	-1,67	-2,21	-2,35
Julho	-1,45	-1,05	-1,76	-1,50	-1,19	-1,21	-1,61	-1,72
Agosto	1,20	0,87	1,46	1,24	0,99	1,01	1,34	1,42
Setembro	2,40	1,74	2,91	2,48	1,97	2,01	2,67	2,84
Outubro	1,82	1,32	2,21	1,88	1,50	1,53	2,03	2,16
Novembro	-0,58	-0,42	-0,70	-0,60	-0,48	-0,49	-0,65	-0,69
Dezembro	-0,79	-0,57	-0,95	-0,81	-0,65	-0,66	-0,88	-0,93

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

Os maiores aumentos ocorrem nos meses de agosto, setembro e outubro, corroborando com o comportamento climático da região, meses estes de menor ou nula precipitação acumulada. As variações negativas, ou seja, as reduções em relação ao mês anterior, ocorrem em maiores valores nos meses de maio a julho, período de friagem na região.

Por fim, considerando que a P1 é proveniente de composição material, comumente utilizada nas calçadas urbanas da região, e considerada nesta pesquisa como a referência, foi realizado a diferença térmica das projeções de cenários futuros dos materiais propostos e a placa de referência (TABELA 15).

TABELA 15 - Diferenças térmicas (ΔT , °C) entre a placa de referência 1 e as placas 2 a 6 durante o período das projeções de cenários futuros

Cenário	ΔT (P2-P1)	ΔT (P3-P1)	ΔT (P4-P1)	ΔT (P5-P1)	ΔT (P6-P1)
2021-2040	-3,50	1,47	2,00	-0,53	-1,03
2041-2060	-3,78	1,69	2,03	-0,71	-1,19
2061-2080	-4,07	1,92	2,07	-0,90	-1,37
2081-2100	-4,43	2,21	2,11	-1,13	-1,58

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

Fica claro que, considerando os meses analisados, que são meses secos com maior rigor climático da região (SOUZA et al., 2021), maior desconforto humano (RIBEIRO, 2016) e menor precipitação e umidade relativa (ALVES, 2022), as melhores propostas de calçamento urbano para a cidade de Várzea Grande-MT, considerando os cenários futuros seria a P2, P5 e P6, materiais estes que apresentam redução de temperatura em relação a P1.

As placas que apresentam melhoria de temperatura interna, em relação a placa de referência P1, são placas produzidas considerando uma melhoria na refletância e albedo do material. Destaca-se que a P2, placa produzida com cimento branco, apresenta uma diferença de aproximadamente 4 °C da placa de referência, em todos os cenários.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desempenho térmico de materiais para calçamentos urbanos se apresentou mais fresco considerando propostas de materiais frios voltados ao aumento de refletância e albedo do material. Os materiais permeáveis se apresentaram, por vezes, mais aquecidos que a placa de referência.

Sendo assim, considerando a análise do comportamento térmico das placas, assim como a localidade da pesquisa, percebe-se e indica-se calçamentos urbanos com colorações mais claras, podendo ser por meio de mistura entre cimento comum e cimento branco (P5 e P6) ou uso de somente cimento branco (P2), que apresentaram maior capacidade de atenuar o aquecimento presente e futuro em relação às demais, comprovando que em épocas de ausência de umidade relativa do ar, período de maior rigor climático da localidade, o aumento da refletância do material, por meio de incremento de coloração branca, apresenta mais fresco que o aumento da permeabilidade do material.

O modelo climático CNRM-ESM2-1 e SSP3-7.0 é um modelo de pressupostos de um mundo de crescimento e continuidade da urbanização e emissão de gases de efeito estufa, sendo assim, esta pesquisa demonstrou o aumento da temperatura no município de Várzea Grande-MT, em torno de 15% considerando o mês de outubro, entre os cenários futuros. Apresentando assim os meses de período seco, os que evidenciarão os maiores aumentos de temperatura do ar nos cenários futuros.

Com a projeção do comportamento futuro dos materiais, é explícito que considerando os meses analisados serem de julho a outubro, meses estes de maior desconforto humano e menor precipitação e umidade relativa, a melhor proposta de calçamento urbano seria a P2, placa produzida com somente uso de cimento branco.

Ressalta-se que com o aquecimento do meio urbano futuro, mesmo a placa com melhor desempenho apresentaria um aumento de temperatura, assim como, com o próprio desgaste natural do material ocasionaria no aumento de temperatura interna do material, porém, considerando a emergência climática que nos encontramos, é de extrema valia analisarmos as possibilidades de melhoria nos calçamentos urbanos a fim de mitigar e, talvez, reduzir os efeitos das anomalias térmicas urbanas e mudanças climáticas global.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A pesquisa apresentada nesta tese foi de contribuição para a linha de pesquisa Análise e Modelagem Microclimática de Sistemas Urbanos, de forma a reforçar a necessidade de maiores investigações sobre o clima urbano, além de que possa evidenciar a emergência climática em que estamos inseridos. De tal maneira, deixo as sugestões de trabalhos futuros com investigações em meio urbano:

- a) Analisar as propriedades térmicas dos materiais produzidos, de maior eficiência de desempenho P2, P5 e P6, considerando obter-se dados de albedo, emissividade, condutividade térmica, absorvância e refletância. Possivelmente em placas de dimensões maiores, que simulariam um calçamento real.
- b) Realizar proposições de novos traços de concreto, considerando a possibilidade de produzir concreto permeável a partir do uso de cimento branco, o que possivelmente, traria a permeabilidade e um aumento na refletância do material.
- c) Avaliar nos anos futuros, os dados de temperatura do ar, comparando as estimativas do modelo e os dados reais.

7. BIBLIOGRAFIAS

7.1 BIBLIOGRAFIAS CITADAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16889:2020: Concreto - Determinação Da Consistência Pelo Abatimento Do Tronco de Cone** 2020.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9833:2008: **Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico**. 2008.

AKBARI, H.; MATTHEWS, H. D.; SETO, D. The long-term effect of increasing the albedo of urban áreas. **Environmental Research Letters**. V.7. 2012.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, Janeiro, 2013.

ALVES, K. S. S. **Caracterização climática da bacia hidrográfica do Rio Cuiabá e simulações de cenários futuros**. 2022. 102 p. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2022.

ANTING, N.; DIN, M. F. M.D.; IWAO, K.; PONRAJ, M.; SIANG, A. J. L. M.; YONG L. Y.; PRASETIJO J. Optimizing of near infrared region reflectance of mix-waste tile aggregate as coating material for cool pavement with surface temperature measurement, **Energy and Buildings**, Volume 158,2018, Pages 172-180, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.001>.

ANUPAM B.R.; UMESH C. S.; CHANDRAPPA A. K.; PRASENJIT R. Emerging technologies in cool pavements: A review. **Construction and Building Materials**, V.299, 123892, 2021, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123892>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA – **ABNT NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

AUMONT, O., ETHÉ, C., TAGLIABUE, A., BOPP, L., AND GEHLEN, M.: PISCES-v2: an ocean biogeochemical model for carbon and ecosystem studies, **Geosci. Model Dev.**, 8, 2465–2513, 2015. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-2465-2015>

BRITO, L. A. T.; HELLER, L **Relatório Final de Pesquisa “Influência da temperatura no comportamento de Pavimentos Flexíveis – uma análise direcionada às ilhas de calor”** v1.1.1049p. 2016.

CALLEJAS I. J.; DURANTE L. C.; ROSSETI K. A. C. Contribuição da Pavimentação Asfáltica para o Aquecimento de Áreas Urbanas. **E&S - Engineering and Science**, 3:1. 2015.

CALLEJAS, I. A. **Avaliação temporal do balanço de energia em ambientes urbanos na cidade de Cuiabá-MT**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental - Universidade de Mato Grosso, 242f. 2012.

CARPIO, J. A. D. **Uso de pigmentos de óxidos de metais mistos na pavimentação para a mitigação da ilha de calor urbana** (Tese de doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

CARVALHO ALVES, M., SANCHES, L. Potential Effects of Spatio-Temporal Temperature Variation for Monitoring Coffee Leaf Rust Progress Under CMIP6 Climate Change Scenarios. **Earth Syst Environ** 6, 421–436, 2022. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00286-7>

CASTRO, L. F. A. **Estudo de traço de concreto permeável de cimento Portland**. 2015. 57p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2015.

CHEGURY, J. Q. B. M. **Análise da variação termo-higrométrica e das ilhas de calor em CUIABÁ – MT**. 2019. 134 p. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2019.

COOAKLEY, J. A. **Reflectance and albedo, surface**. Encyclopedia of Atmospheric Sciences, 2003.

DECHARME B., DELIRE C., MINVIELLE M., COLIN J., VERGNES J.-P., ALIAS A., SAINT-MARTIN D., SÉFÉRIAN R., SÉNÉSI S., VOLDOIRE A. Recent changes in the ISBA-CTRIP land surface system for use in the CNRM-CM6 climate model and in global off-line hydrological applications. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, 11, 1207– 1252. 2019, <https://doi.org/10.1029/2018MS001545>

DÉQUÉ M., DREVETON C., BRAUN A., CARIOLLE D. The ARPEGE-IFS atmosphere model: a contribution to the French community climate modelling. **Climate Dynamics** 10:249-266. 2019.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 2008. 160p. Tese (Doutorado)- Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

DORNELLES, K. A. **Comportamento Espectrofotométrico de Amostras Lisas e Rugosas Pintadas. Relatório Interno. Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica.** Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 2006.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. *Solar engineering of thermal processes*, **John Wiley & Sons**, Londres, 2013.

FAWZY, S.; OSMAN, A.I.; DORAN, J.; ROONEY, D.W; Strategies for mitigation of climate change: a review. **Environ. Chem. Lett.** 18, 2069–2094. 2020.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas.** São Paulo: Oficina de textos, 2010.

GILBERT S.L.; BROADLEY K.; DORAN-MYERS D.; DROGHINI A.; HAINES J.A.; HÄMÄLÄINEN A.; LAMB C.T.; NEILSON E. W.; BOUTIN S. Conservation triage at the trailing edge of climate envelopes. **Conserv Biol.** 34(1):289-292. 2020. doi: 10.1111/cobi.13401

GIORDANO, D. E.; KRUGER, E. **Potencial de redução da temperatura de superfície pelo aumento do albedo nas diversas regiões brasileiras.** In: Encontro Nacional e Latinoamericano de Conforto do Ambiente Construído, 12. Brasília, 2013.

GIORIO M.; PAPARELLA R. Climate Mitigation Strategies: The Use of Cool Pavements. *Sustainability.* v15(9):7641. 2023. <https://doi.org/10.3390/su15097641>

GONÇALVES M.; BARRERA-ESCODA A.; BALDASANO J. M.; CUNILLERA J.; Modelling wind resources in climate change scenarios in complex terrains. **Renewable Energy**, Volume 76, Pages 670-678. 2015. ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.066>.

GUEMAS, V. D. SALAS Y MELIA, Simulation of the Atlantic Meridional Overturning Circulation in an Atmosphere-Ocean Global Coupled Model, Part I : A Mechanism Governing the Variability of Ocean Convection in a Preindustrial Experiment. **Climate Dyn.** 31(1), 29-48. 2008. doi : 10.1007/s00382-007-0336-8

HAUSFATHER, Z. CMIP6: the next generation of climate models explained. **Climate Modelling.** Disponível em: <<https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained>>. Acesso em 09 de maio de 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico (2022).** Disponível em <http://www.ibge.gov.br/> Acesso em 10/08/2023.

IPCC, 2014. In: Pachauri, R.K., Meyer, L.A. (Eds.), *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report*

of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team. IPCC, Geneva, Switzerland, p. 151.

IPCC, 2018. Annex I: glossary. In: Matthews, J.B.R. (Ed.), In: **Global Warming of 1.5 C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5C above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty** [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Poertner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Pean, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.

IPCC. **AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability — IPCC**. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

KOUSIS, I.; PISELLO, A.L. Evaluating the performance of cool pavements for urban heat island mitigation under realistic conditions: A systematic review and meta-analysis, **Urban Climate**, Volume 49, 101470, 2023, ISSN 2212-0955, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101470>

KOWALSKI, L. F.; SILVA, T. M.; SILVA, V. H. N.; RÍSPOLI, I. A. G.; MASIERO, E. Permeabilidade e variação do albedo de pavimentos frios em função do teor de umidade. **Revista de Arquitetura IMED** . Vol. 11 Issue 1, p39-55. 17p, jan-jun 2022.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura. Eletrobras/Procel**, 3a edição. Rio de Janeiro, 2014.

LAYDEN, A., MACCALLUM, S. N., & MERCHANT, C. J. Determining lake surface water temperatures worldwide using a tuned one-dimensional lake model (FLake, v1). **Geoscientific Model Development**, 9(6), 2167-2189.2016.

LEZAUN, J. Hugging the shore: tackling marine carbon dioxide removal as a local governance problem. **Front. Climate**. 3, 684063. 2021.

LI, H.; HARVEY, J. T., HOLLAND, T. J., KAYHANINAN, M. The use of reflective and permeable pavements as a potential practice for heat island mitigation and stormwater management. **Environmental Research Letters**, 8(1), p.1-14, 2013.

LI, H.; HARVEY, J.; GE, Z. Experimental investigation on evaporation rate for enhancing evaporative cooling effect of permeable pavement materials. **Constr. Build. Mater.** 2014, 65, 367–375.

MAITELLI, G. T. **Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá-MT**. 1994. 220f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MANOLI, G., FATICHI, S., SCHLÄPFER, M. *et al.* Magnitude of urban heat islands largely explained by climate and population. *Nature*. v. 573, 55–60, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1512-9>

MAPBIOMAS (2019). Coleção da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil disponível no site <https://plataforma.mapbiomas.org/map#coverag> e. Acesso: jan. 2023.

MARCHI, A. C.; MELO, M. L. D.; LYRA, A. A.; KUBOTA, P. Y.; CHOU, S. C.; ROSAS, P. Mid-holocene climate simulations over Brazil using ETA regional paleoclimate model. *Derbyana*, São Paulo, 43:e775, 2022.

MARENGO, J. A. *et al.* Changes in climate and land use over the Amazon region: current and future variability and trends. *Frontiers in Earth Science*, v. 6, p. 228, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00228>

MARTENS, P.; MCEVOY, D.; CHANG, C.T. Climate change: responding to a major challenge for sustainable development. *Sustainability Science*. Springer. 2016.

MARUYAMA, C. M. **Pavimentos brandos para a mitigação das Ilhas de calor: o caso do Jardim da Luz e seu entorno em São Paulo/SP. 2020**. Tese (Doutorado em Paisagem e Ambiente) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. doi:10.11606/T.16.2020.tde-26032021-125251. Acesso em: 2023-10-31.

MASIERO, E.; SOUZA, L. C. L. Mapping humidity plume over local climate zones in a high-altitude tropical climate city, Brazil. *Ambiente Construído*, [S. l.], v. 18, n. 4, p. 177–197, 2018.

MASSON, V.; LEMONSU, A.; HIDALGO, J.; VOOGT, J. Urban Climates and Climate Change. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 2020.

MEIER, B.M.; BUSTREO, F.; GOSTIN, L.O. Climate Change, Public Health and Human Rights. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19, 13744. 2022. <https://doi.org/10.3390/ijerph192113744>

MEINSHAUSEN M.; NICHOLLS Z.; LEWIS J.; GIDDEN M.; VOGEL E.; FREUND M. *et al.* **Geoscientific Model Development**. vol. 13. 8. P. 3571-3605, 2020.

MICHO, M., NABAT, P., SAINT-MARTIN, D.: Development and basic evaluation of a prognostic aerosol scheme (v1) in the CNRM Climate Model CNRM-CM6, **Geosci. Model Dev.**, 8, 501–531, 2015. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-501-2015>

MICHO, M., SAINT-MARTIN, D., TEYSSÈDRE, H., ALIAS, A., KARCHER, F., OLIVIÉ, D., VOLDOIRE, A., JOSSE, B., PEUCH, V.-H., CLARK, H., LEE, J. N., AND CHÉROUX, F.: A new version of the CNRM Chemistry-Climate Model, CNRM-CCM: description and improvements from the CCMVal-2 simulations, **Geosci. Model Dev.**, 4, 873–900, 2011. <https://doi.org/10.5194/gmd-4-873-2011>

MIOT, H. A.. Análise de correlação em estudos clínicos e experimentais. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 17, n. 4, p. 275–279, out. 2018.

MODEST, M. F. **Radioative heat transfer (3ª Ed.)** Elsevier. ISBN 978-0-12-503163-9. 2003. P. 822. 2013.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. In: MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo; MENDONÇA, Francisco de Assis (Orgs.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. p. 9-67.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. Série “Teses e Monografias no 25”. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. 181p.

NAITZEL, L. T. **Validação de modelos climáticos globais e análise de projeções futuras para o rio grande do sul**. 2021. 151p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

NASA. **NASA, NOAA to Announce 2021 Global Temperatures, Climate Conditions**. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/press-release/nasa-noaa-to-announce-2021-global-temperatures-climate-conditions>>. Acesso em: 18 mar. 2023.

NEVES JUNIOR, A. **Captura de CO₂ em Materiais Cimentícios através da Carbonatação Acelerada**. 2014. 179 p. Tese (Doutorado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2014.

OKE T.R.; MILL S.G.; CHRISTENA; VOOG T. J. **Urban Climate**. Cambridge, UK, Cambridge Univ. Press

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. London: Methuen & Co, 1978.

OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. **World Meteorological Organization**. Instrument and Observing Methods Report n. 81., 2006.

OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. **Urban climates**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. 542p. ISBN 9781107429536

OLIVEIRA, J. R. F. **O clima urbano em cidade de pequeno porte no semiárido cearense: o caso de Crateús**. 2020. 151 p. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2020.

ONU - **Organizações das Nações Unidas**. (2022) Disponível em <http://unicrio.org.br/> Acesso em 10/07/2023.

OSMAN, A.I.; HEFNY, M.; MAKSOUD, M.A.; ELGARAHY, A.M.; ROONEY, D.W.; Recent advances in carbon capture storage and utilization technologies: a review. **Environ. Chem. Lett.** 19, 797–849. 2020.

OUHAMDOUCH, S.; BAHIR, M.; OUAZAR, D.; CARREIRA, P.M.; ZOUARI, K. Evaluation of climate change impact on groundwater from semi-arid environment (Essaouira Basin, Morocco) using integrated approaches. **Environ. Earth Sci.** 78, 1–14. 2019.

PAULA, D. C. J. DE. **Simulação de cenários futuros de ilha de calor e morfologia urbana como instrumento no planejamento de cidades**. Tese de doutorado—Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, ago. 2021.

PEREIRA, C. D. **Influência da Refletância e da Emitância de Superfícies Externas no Desempenho Térmico de Edificações**. Florianópolis, 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

PRINCIOTTA, F.T.; LOUGHLIN, D.H.; Global climate change: the quantifiable sustainability challenge. **J. Air Waste Manag. Assoc.** 64, 979–994. 2014.

RAMOS FILHO, R. DA S. **Cenários de projeção do risco a inundações no Estado da Paraíba**. Dissertação (mestrado)—Campina Grande - PB: Universidade Federal de Campina Grande, 2022.

RAMPAZZO, C. R. **Clima urbano, risco climático e vulnerabilidade socioespacial mediados pela produção do espaço urbano em cidades paulistas**. 2020. 280p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2020.

RIahi, K. et al. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 153–168, jan. 2017.

RIBEIRO, K. F. A. **Análise da influência da vegetação arbórea no comportamento térmico dos diferentes tipos de revestimento do solo.** Cuiabá, 2016. 157f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental). Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, 2016.

ROMEO, C., ZINZI, M. Impact of a cool roof application on the energy and comfort performance in an existing non-residential building. A Sicilian case study. **Energy and Buildings**, 67(1), 647-657, 2013.

ROMERO, H.; SALGADO, M.; SMITH, P. Cambios climáticos y climas urbanos: relaciones entre zonas termales y condiciones socioeconómicas de la población de Santiago de Chile. **Revista INVI**, Vol. 25, n°. 70, p.151-179. 2010.

RORIZ, V. F.; DORNELLES, K. A.; RORIZ, M.. **Fatores determinantes da absorptância solar de superfícies opacas.** In: IX encontro nacional e v latino americano de conforto no ambiente construído, 2007, ouro preto. Anais do IX encontro nacional e v latino americano de conforto no ambiente construído [...]. Ouro Preto: Ambiente Construído, 2007.

SABINO, C. V. S.; LAGE, L. V.; NORONHA, C. V. DE. Variação sazonal e temporal da qualidade das águas em um ponto do Córrego Gameleiras usando técnicas quimiométricas robustas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 969–983, out. 2017.

SANT'ANNA NETO, J. L.; RAMPAZZO, C. R. **Geindicadores urbanos para o estudo dos processos termodinâmicos do clima das cidades de pequeno e médio porte.** In: Clima e gestão do território. SANT'ANNA NETO, J. L.; AMORIM, M. C. de C. T.; SILVA, Charlei A. da (Orgs). Jundiaí, Paco Editorial: p.7-32. 2016.

SANTAMOURIS, M. Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island - A review of the actual developments. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v.26, p.224-240, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.047>

SANTOS R. M.; BAKHSHOODEH R. Climate change/global warming/climate emergency versus general climate research: comparative bibliometric trends of publications. **Heliyon**. v19;7(11). 2021. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e08219

SÉFÉRIAN et al. Avaliação do modelo CNRM do sistema terrestre, CNRM-ESM2-1: papel dos processos do sistema terrestre no clima atual e futuro, **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, <https://doi.org/10.1029/2019MS001791>.

SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R. **Temperatura do ar e do solo**. [online] disponível em: http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/Aula6_2012.pdf Acessado em: 31 de outubro de 2023.

SERRONE, G.; PELUSO, P.; MORETTI, L. Evaluation of Microclimate Benefits Due to Cool Pavements and Green Infrastructures on Urban Heat Islands. *Atmosphere* v.13,1586. 2022. <https://doi.org/10.3390/atmos13101586>

SILVA, F. K. **Análise espaço-temporal do fogo no bioma pantanal utilizando dados de sensoriamento remoto**. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 83 p. 2021.

SIQUEIRA, F. R. P. S. **Efeito da urbanização no balanço de energia da superfície por sensoriamento remoto em Várzea Grande – MT**. 2019. 79 p. Tese (doutorado em física ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2019.

SORRE, M. **Fundamentos biológicos de la geografía humana: ensayos de una ecología del hombre**. Barnacelona. Juventd, 1955. 344p.

SOUSA, R. M. et al. Projeções climáticas regionalizadas para o Estado do Tocantins, Brasil, nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 24, n. 15, p. 330–347, 2019.

SOUZA, J. F.; SILVA, R. M.; SILVA, A. M. Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa – PB. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 21-37, jan./mar. 2016.

SOUZA, N. S. **Análise da relação da radiação solar na formação de ilhas de calor em diferentes configurações urbanas em Cuiabá-MT**. Cuiabá, 2016, 60f. Dissertação (Mestrado), Instituto de Pós-Graduação em Física-Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

SOUZA, N. S. **Análise de Anomalias Térmicas em Função da Geometria Urbana em Cuiabá-MT**. 2019. 98 p. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2019.

SUZUKI, C. Y; AZEVEDO, A. M; JÚNIOR, F. I. K. **Drenagem subsuperficial de pavimentos: Conceitos e dimensionamento**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 240 p.

TAYLOR, K.E.; STOUFFER, R.J.; MEEHL, G.A.; An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 93, 485–498. 2012.

TEIXEIRA, N. C.; DANELICHEN, V. H. M.; PEREIRA, O. A.; SEIXAS, G. B. **Dinâmica de Queimadas no Município de Cuiabá-MT por Sensoriamento Remoto**. Revista Brasileira de Geografia Física v.14, n.02 (2021) 607-618. 2021.

USEPA: **Global Anthropogenic Non-CO₂ Greenhouse Gas Emissions 1990-2030**, EPA 430-R-12-006, US Environmental Protection Agency, Washington DC, 2012.

VOLDOIRE, A. et al. Evaluation of CMIP6 DECK Experiments With CNRM-CM6-1. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, v. 11, n. 7, p. 2177–2213, 11 jul. 2019.

VOLDOIRE, A., DECHARME, B., PIANEZZE, J., LEBEAUPIN BROSSIER, C., SEVAULT, F., SEYFRIED, L., et al. SURFEX v8.0 interface with OASIS3-MCT to couple atmosphere with hydrology, ocean, waves and sea-ice models, from coastal to global scales. **Geoscientific Model Development**, 10(11). 2-17. <https://doi.org/10.5194/gmd-10-4207-2017>

VOLDOIRE, A., DECHARME, B., PIANEZZE, J., LEBEAUPIN BROSSIER, C., SEVAULT, F., SEYFRIED, L., GARNIER, V., BIELLI, S., VALCKE, S., ALIAS, A., ACCENSI, M., ARDHUIN, F., BOUIN, M.-N., DUCROCQ, V., FAROUX, S., GIORDANI, H., LÉGER, F., MARSALEIX, P., RAINAUD, R., REDELSPERGER, J.-L., RICHARD, E., RIETTE, S.: SURFEX v8.0 interface with OASIS3-MCT to couple atmosphere with hydrology, ocean, waves and sea-ice models, from coastal to global scales, **Geosci. Model Dev.**, 10, 4207–4227, 2017. <https://doi.org/10.5194/gmd-10-4207-2017>

WANDERLEY, R. L. N. *et al.* Relationship between land surface temperature and fraction of anthropized area in the Atlantic forest region, Brazil. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 14, n. 12, p. 1–19, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225443>

WANG Y.; LI Y.; DI SABATINO S.; MARTILLI A.; CHAN P. W.; Effects of anthropogenic heat due to air-conditioning systems on an extreme high temperature event in Hong Kong. **Environ. Res. Lett.** 13(3):034015, 2018.

WU, H.; SUN, B.; LIU, Z.; YIN, J. Laboratory-simulated investigation on thermal behaviours of permeable concrete pavements. Road Mater. **Pavement**, v.8, n.3, p.104-115, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/14680629.2017.1329865>

ZHANG, T.; ZHAO, X.; ZHAO, Y.; LUKOLONGO, D.; CHABI, M.; QI, F. Influences of Spherical Tree Canopy on Thermal Radiation Disturbance to Exterior Wall under the Condition of No Shade Cast on the Wall. **Build. Simul.** 15, 1367–1383. 2022.

7.2 BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9778:2005: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** 2005.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 52:2009: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** 2009.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16416:2015 – Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos.** 2015.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16605:2017: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica.** 2017.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5739:2018: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** 2018.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16917:2021: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água.** 2021.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 17054:2022: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio.** 2022.

ACIOLI, L. **Estudo Experimental de Pavimentos Permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte.** Dissertação de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RS. 2005.

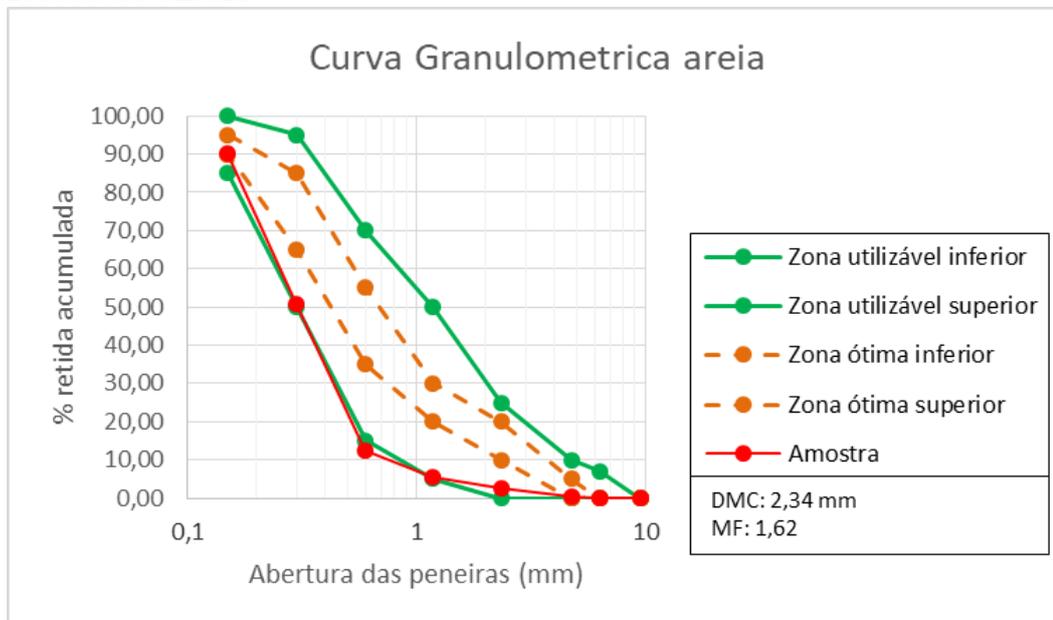
HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto.** São Paulo: Ed. Pini, 1992. 349 p.

MARIANO, R. H. **Influência do teor de argamassa e da granulometria da brita na permeabilidade e nas resistências à compressão e à abrasão de concretos permeáveis.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2014.

SALES, T. L. **Pavimento permeável com superfície em blocos de concreto de alta porosidade.** 2008. 173p. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

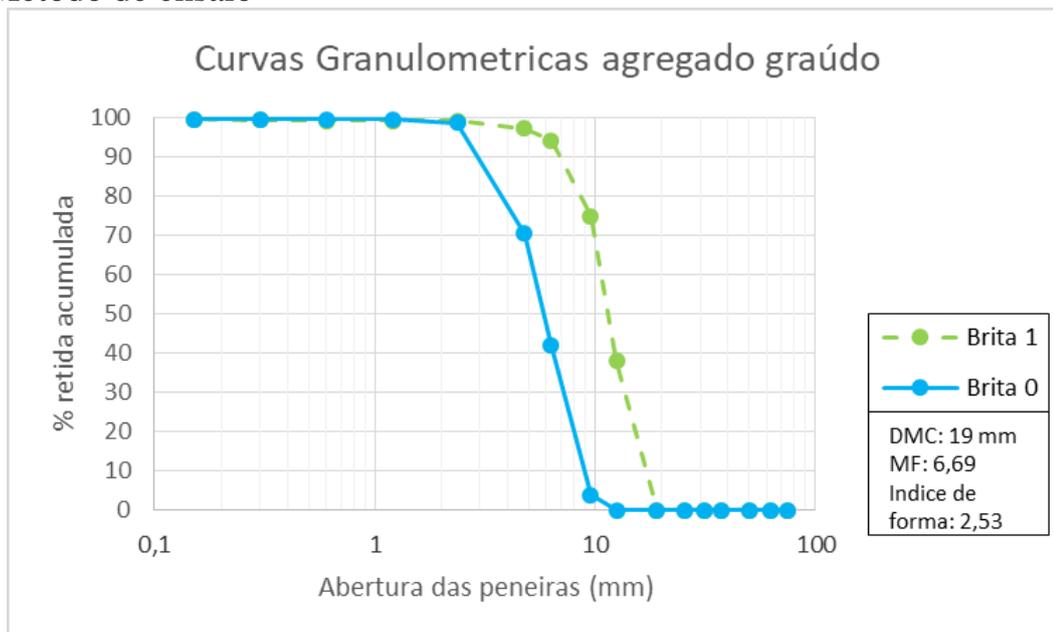
8. ANEXOS

ANEXO A – Curva granulométrica do agregado miúdo - ABNT NBR 17054:2022: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio



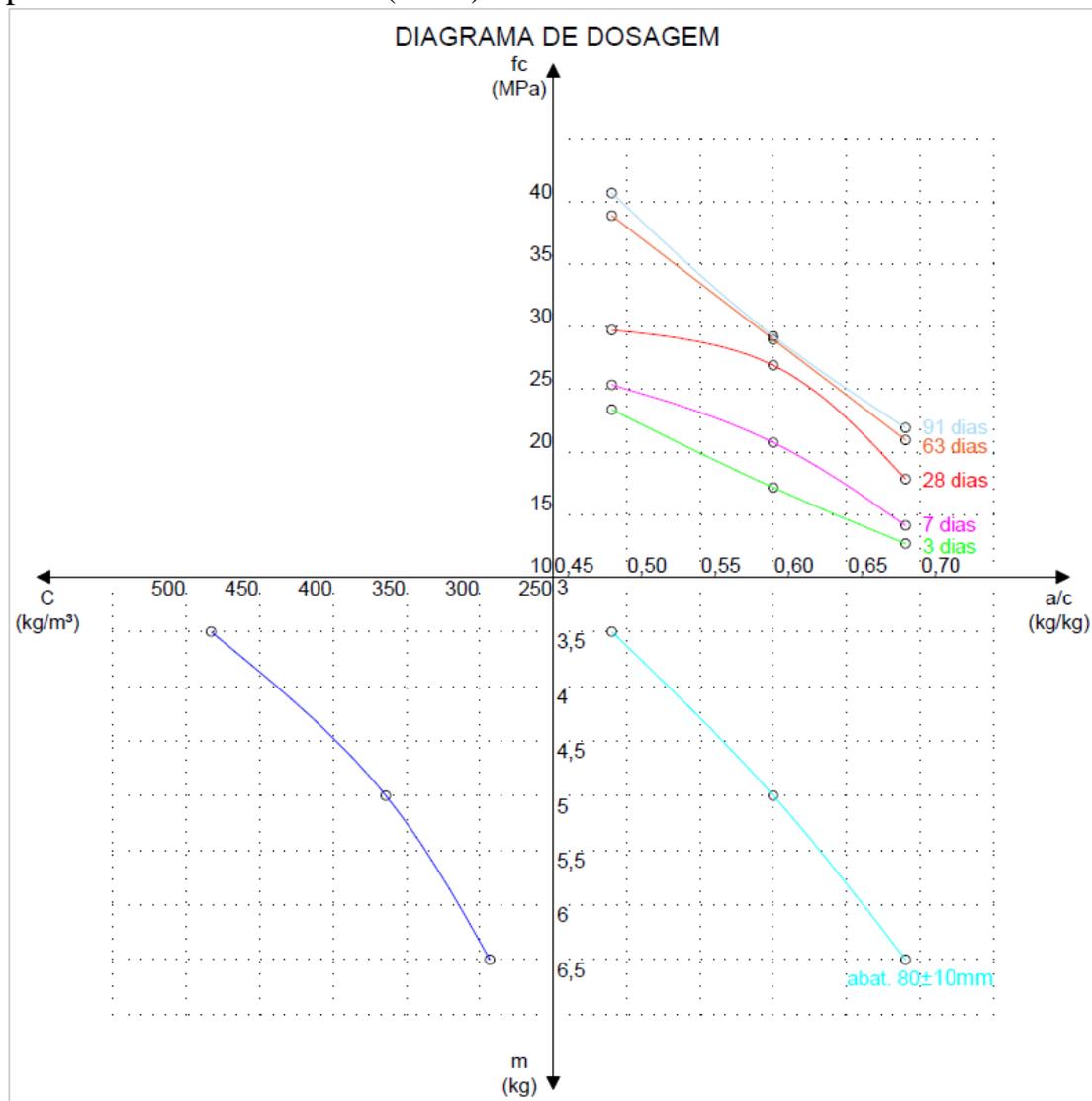
FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

ANEXO B – Curvas granulométricas do agregado graúdo - ABNT NBR 17054:2022: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio



FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

ANEXO C – Diagrama de dosagem dos concretos convencionais utilizados na pesquisa, com dados obtidos por meio do método proposto por HELENE e TERZIAN (1992)



FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

ANEXO D – Massa específica dos materiais utilizados na pesquisa (ABNT NBR NM 52:2009: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente; ABNT NBR 16605:2017: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica; ABNT NBR 16917:2021: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água)

Material	Massa específica (g/cm ³)
Areia Média	2,63
Cimento Portland CII-Z	3,07
Cimento Portland Branco	3,02
Brita 0	2,70
Brita 1	2,71
Brita 2	2,72

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

ANEXO F – Consumo de materiais e custo total por metro cúbico dos concretos produzidos na pesquisa

Placa	Consumo Brita 2 (kg/m ³)	Consumo Brita 1 (kg/m ³)	Consumo Brita 0 (kg/m ³)	Consumo de Cimento CII-Z (kg/m ³)	Consumo de Cimento Branco Estrutural (kg/m ³)	Consumo de água (l/m ³)	Consumo Areia (kg/m ³)	Custo Total (R\$/m ³)*
P1	665,91	284,23	-----	406,04	-----	231,44	755,24	R\$ 504,96
P2	672,41	287,01	-----	-----	410,01	241,91	762,62	R\$ 2.035,21
P3	-----	1446,11	-----	289,22	-----	101,23	-----	R\$ 379,25
P4	-----	-----	1562,26	312,45	-----	109,36	-----	R\$ 431,33
P5	667,46	284,89	-----	203,49	203,49	231,98	757,00	R\$ 1.263,14
P6	682,24	291,20	-----	332,80	83,20	245,44	773,76	R\$ 826,93

*Para a composição do custo total, utilizou-se os custos unitários para os insumos areia, brita 2, brita 1, brita 0 e Cimento Portland CII-Z e Cimento Portland Branco Estrutural, coletados na tabela de referência de preços SINAPI/MT do mês de julho de 2023. Já o custo unitário da água foi coletado por meio de uma adaptação da fatura de fornecimento de água da concessionária Departamento de Água e Esgoto de Várzea Grande - MT (DAE), com data de referência de agosto de 2023.

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

ANEXO G – Resistência a compressão simples corpos de prova de concreto - ABNT NBR 5739:2018

Placa	Idade (dias)	Tensão Média (MPa)
P1	28	25,12
P2	28	21,33
P3	28	4,25
P4	28	7,20
P5	28	20,25
P6	28	23,67

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

ANEXO H - Ensaio Absorção de água por imersão dos corpos de prova de concreto - NBR 9778:2005

Placa	Absorção A (%)	Índice de vazios Iv (%)	Massa esp. Seca ρ_s (g/cm ³)	Massa esp. Sat. ρ_{sat} (g/cm ³)	Massa esp. Real ρ_r (g/cm ³)
P1	8,12	17,61	2,17	2,35	2,63
P2	8,25	18,03	2,18	2,36	2,66
P3	4,38	10,24	2,34	2,44	2,60
P4	7,49	15,62	2,08	2,24	2,47
P5	8,10	17,60	2,17	2,35	2,64
P6	6,35	14,44	2,27	2,42	2,66

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

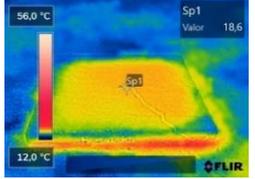
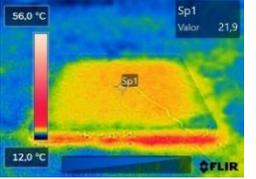
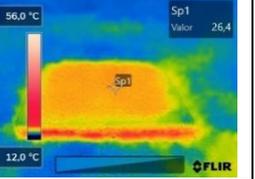
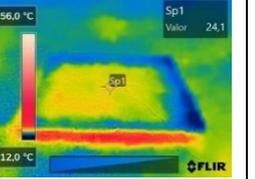
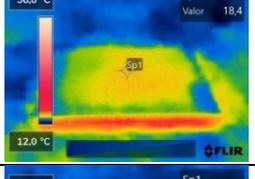
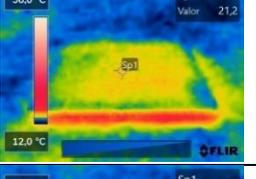
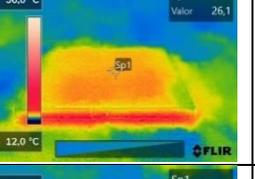
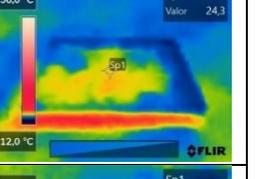
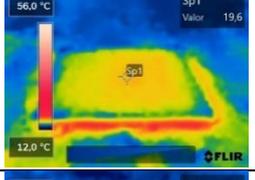
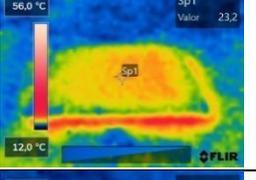
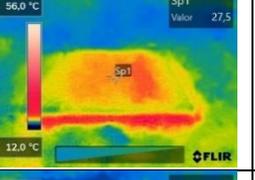
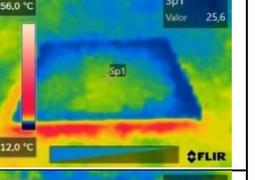
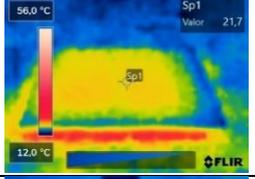
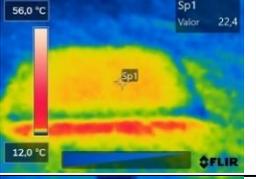
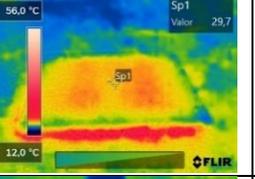
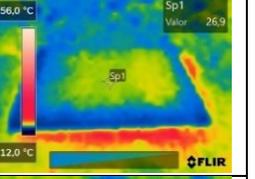
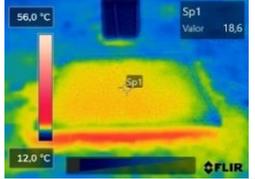
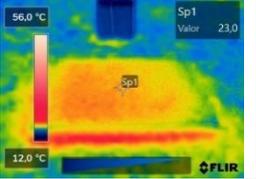
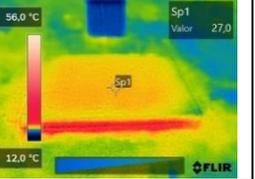
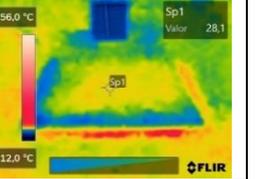
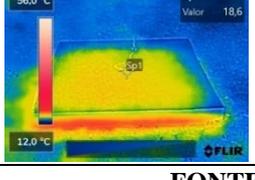
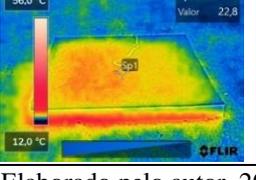
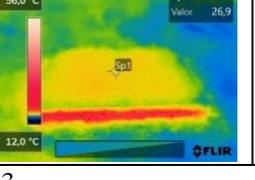
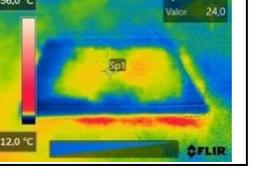
ANEXO I - Ensaio coeficiente de permeabilidade de concreto permeável moldado *in loco* - NBR 16416:2015

Placa	Massa de água infiltrada m (kg)	Diâmetro cilindro inf. d (mm)	Tempo t (s)	Fator conversão C	Coef. Permeabilidade k (mm/h)	Coef. Permeabilidade k (m/s)
P3	18,00	300,00	20,24	4583666000,00	45293,14	$1,26 \times 10^{-2}$
P4	3,60	300,00	16,95	4583666000,00	10816,91	$3,00 \times 10^{-3}$

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

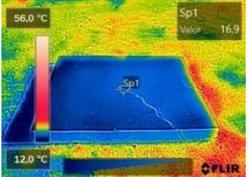
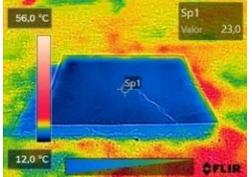
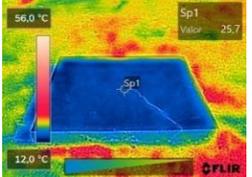
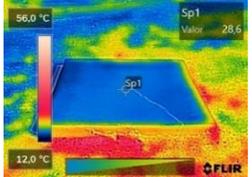
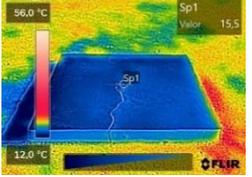
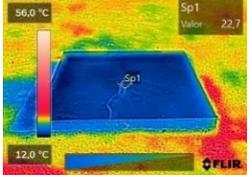
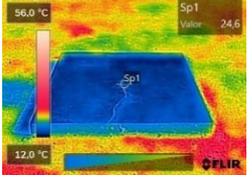
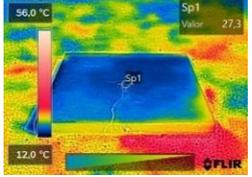
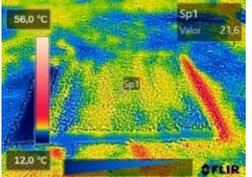
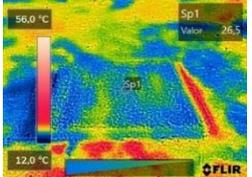
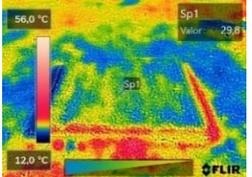
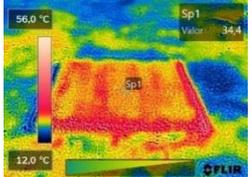
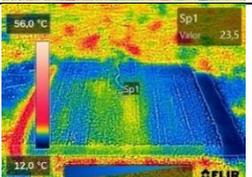
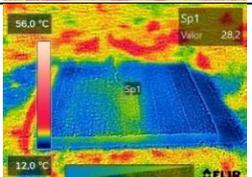
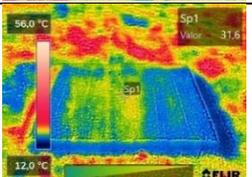
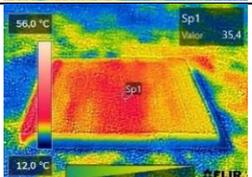
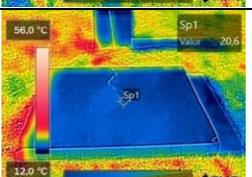
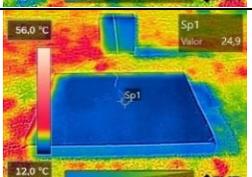
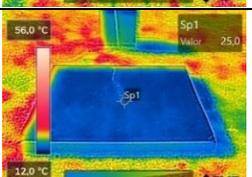
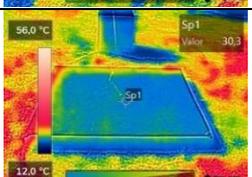
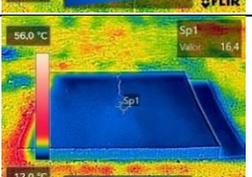
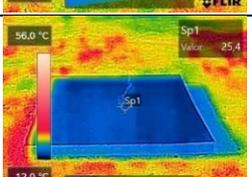
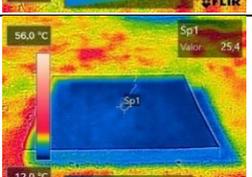
ANEXO J – Fotos câmera termográfica

ANEXO J.1 – Fotos capturadas às 2h00min

ID	Foto	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
P1					
P2					
P3					
P4					
P5					
P6					

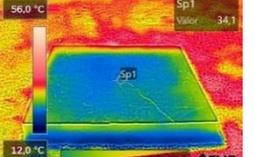
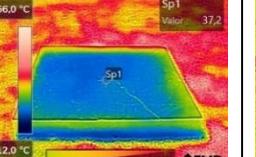
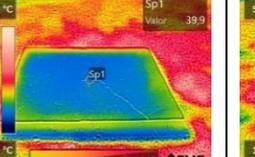
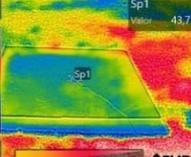
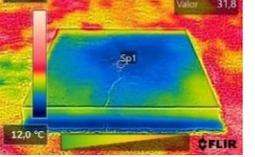
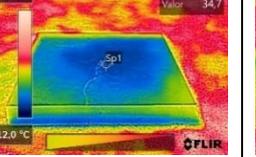
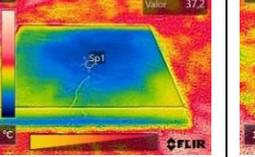
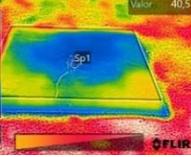
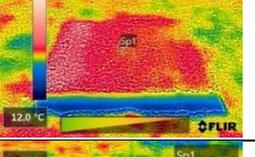
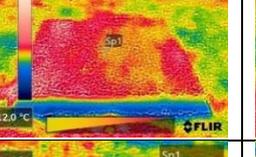
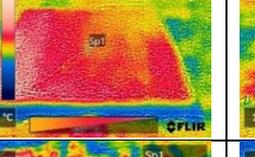
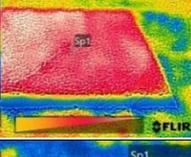
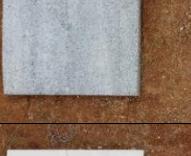
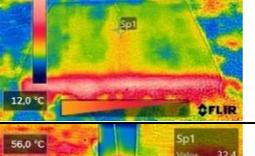
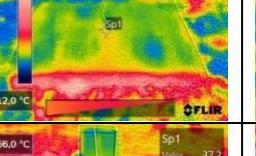
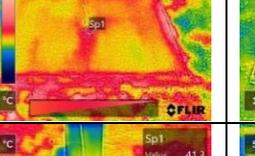
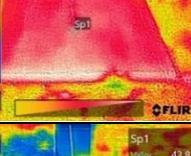
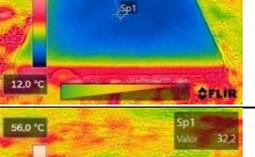
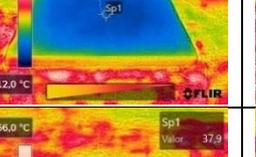
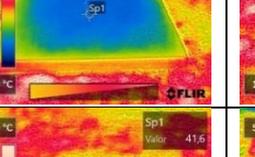
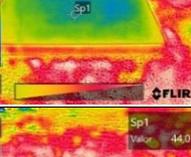
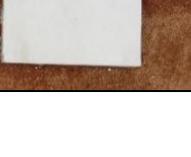
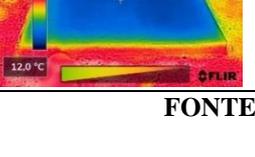
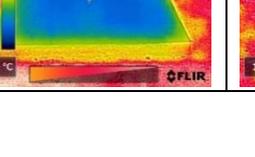
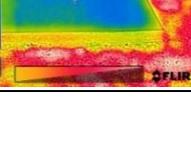
FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

ANEXO J.2 – Fotos capturadas às 8h00min

ID	Foto	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
P1		 Sp1 Valor: 16,9	 Sp1 Valor: 23,0	 Sp1 Valor: 25,7	 Sp1 Valor: 28,6
P2		 Sp1 Valor: 15,5	 Sp1 Valor: 22,7	 Sp1 Valor: 24,6	 Sp1 Valor: 27,3
P3		 Sp1 Valor: 23,6	 Sp1 Valor: 28,5	 Sp1 Valor: 29,8	 Sp1 Valor: 34,4
P4		 Sp1 Valor: 23,5	 Sp1 Valor: 28,2	 Sp1 Valor: 31,6	 Sp1 Valor: 35,4
P5		 Sp1 Valor: 20,6	 Sp1 Valor: 24,9	 Sp1 Valor: 25,0	 Sp1 Valor: 30,3
P6		 Sp1 Valor: 16,4	 Sp1 Valor: 25,4	 Sp1 Valor: 25,4	 Sp1 Valor: 27,9

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

ANEXO J.3 – Fotos capturadas às 14h00min

ID	Foto	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
P1					
P2					
P3					
P4					
P5					
P6					

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023

ANEXO J.4 – Fotos capturadas às 20h00min

ID	Foto	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
P1					
P2					
P3					
P4					
P5					
P6					

FONTE: Elaborado pelo autor, 2023